

Der Einfluß von Reservestoffen und
genetischer Konstitution auf die Sensibilität
pflanzlicher Samen bei Gamma-Bestrahlung

von

WALTER MÜHLHÖLZL

München 1965

Aus dem Botanischen Institut der Universität München

Direktor: Prof. Dr. Leo Brauner

Der Einfluß von Reservestoffen und genetischer Konstitution
auf die Sensibilität pflanzlicher Samen bei Gamma- Bestrahlung.

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Ludwig- Maximilians- Universität München

vorgelegt von

W a l t e r M ü h l h ö l z l

aus München

1965

1. Referent: Prof. Dr. Alfred Barthelmeß

2. Referent: Prof. Dr. Leo Brauner

eingereicht am 5. November 1965

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Dezember 1965

Mikrokopie GmbH . München 22 . Bruderstr. 9

Inhaltsangabe.

	Seite
I. <u>Einleitung</u>	3
II. <u>Material und Methode</u> , Begründung der Untersuchungsmethoden, Statistik	6
III. <u>Versuchsdurchführung</u>	
A. Vergleich von Samen mit verschiedener gene- tischer Konstitution, aber annähernd glei- chem Reservestofftyp:	
1. Polyploide Reihen	14
2. Wildformen - Zuchtsorten	18
3. Inzuchtlinien und deren heterotische F ₁ - Generation	22
B. Vergleich von Samen verschiedener Reservestofftypen:	
1. Kohlehydrate als Hauptbestandteil der Reservestoffe	24
2. Öle als Hauptbestandteil der Reservestoffe	26
C. Bestrahlung junger, autotropher Keim- linge	37
D. Die Auswirkung einer Schutzstoffbehandlung von Samen	39
IV. <u>Diskussion</u>	44
V. <u>Zusammenfassung</u>	52
VI. <u>Literaturangaben</u>	53
Danksagung, Lebenslauf	59.



I. Einleitung.

Nachdem auch in der Botanik ionisierende Strahlungen für biochemische und genetische Untersuchungen angewandt wurden, stellte man bei der Bestrahlung pflanzlicher Samen ungewöhnlich große Sensibilitätsunterschiede im Hinblick auf die Überlebensraten der einzelnen Arten und Sorten fest. Die Werte der LD 50 differieren dabei um den Faktor 100.

Für die Beurteilung der Empfindlichkeit wurden bisher fast ausschließlich Überlebensraten, Keimungsverlauf oder frühe Wachstumsleistung herangezogen. Diese Erscheinungsbilder stellen eine Kombination genetischer und paragenetischer Effekte dar, die kaum voneinander getrennt werden können. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde die Sensibilität pflanzlicher Samen nach diesem Wirkungskomplex beurteilt.

Zur Erklärung der großen Sensibilitätsunterschiede zwischen Angehörigen verschiedener Taxa sind mehrere Vorschläge gemacht worden.

GUSTAFSSON (1944) versuchte, die hohe Resistenz des Leins und vor allem die der Cruciferen in Zusammenhang mit der "phylogenetisch wenig abgeleiteten Stellung" dieser Familien zu bringen.

Die Entdeckung, daß die Sensibilität eines Samens von seinem Wassergehalt beeinflusst wird (LAMBERT 1933, KNAPP 1939 u. 1942, NILAN 1956, GELIN u. Mitarb. 1958, BIEBL 1958 u. 1959, NATARAJAN u. NARAYANAN 1963) und daß die Temperatur während der Keimung den Strahlenschaden modifiziert (GELIN 1953, GELIN u. Mitarb. 1958, EHRENBERG 1955 a, b, EHRENBERG u. LUNDQUIST 1957, NATARAJAN u. NARAYANAN 1963), konnte die Unterschiede zwischen den einzelnen Arten nicht klären, da diese bei gleichartiger Behandlung (Standardisierung der Bestrahlungsdosis, der Strahlenart, des Bestrahlungsmodus, des Wassergehalts, des Sauerstoffdrucks, der Temperatur während und nach der Bestrahlung, der Aufbewahrungszeit und der Keimtemperatur) weiterbestehen. Der Einfluß sameneigener Reservestoffe auf das Verhältnis von freiem zu gebundenem Wasser darf aber nicht außer Betracht gelassen werden.

Die Samengröße könnte für die Resistenz gegenüber ionisierenden Strahlen ebenfalls von Bedeutung sein, da während der Quellung bzw. der Keimung das Verhältnis von Oberfläche : Volumen bei kleinen Samen

größer ist als bei großen Samen und dadurch die Sauerstoffaufnahme erleichtert ist. Ein erhöhter Sauerstoffdruck im Samen (der künstlich durch Begasung bei Überdruck zu erreichen ist), erhöht die meßbare Strahlenschädigung (KIHLMANN 1955 u. 1958, NILAN 1956, NATARAJAN u. AHNSTRÖM 1961). Nach den bisherigen Erfahrungen, auch in dieser Arbeit, hat die Samengröße keinen Einfluß auf die Resistenz der einzelnen Arten, wenngleich FRÖIER u. GUSTAFSSON (1944) fanden, daß innerhalb einer Art die kleineren Samen etwas empfindlicher als die größeren sind. In meinen Versuchen wurde deshalb ein besonderes Augenmerk auf solche Reservestoffe gelegt, die wegen ihres chemischen Reduktionsvermögens die Sauerstoffspannung im Samen herabsetzen können und dadurch Strahlenschutz durch gewisse Anoxie bewirken würden. Hierfür boten sich Samen mit Gehalt an ungesättigten Fettsäuren und Senfölen (Isothiocyanate) an. Diese Verbindungen könnten nicht nur indirekt durch die Verminderung des Sauerstoffdrucks, sondern selbst aktiv durch den Einfang freier Radikale bzw. von Ionisationsspaltprodukten, als endogene Schutzfaktoren wirken. So fanden BOWEN u. THICK (1962) eine Schutzwirkung des Samenbreies der ölreichen Brassica, wenn Samen entfernter, sensibler Gattungen damit vor der Bestrahlung behandelt wurden. SINGH u. Mitarb. (1961) stellten durch ESR- Untersuchungen fest, daß die Samen ölreicher Maisstämme nach der Bestrahlung weniger freie Radikale als die ölarmer Stämme aufwiesen. BHASKARAN (1964) vermutet einen "Öl- Zucker- Komplex", der in sehr trockenen, bestrahlten Senfsamen die Zahl der freien Radikale erniedrigt. Daß chemische Faktoren überhaupt die Resistenz pflanzlicher Samen beeinflussen können, wird von mehreren Autoren klar bejaht; nach SPARROW u. EVANS (1961) und SPARROW (1962) ist die Schädigungsrate nach einer Keimlingsbestrahlung nicht immer mit der von den Interphasechromosomen absorbierten Energie (eV) korreliert, wofür chemische Schutzstoffe verantwortlich sein können. Umsomehr müßte dies bei einer Samenbestrahlung durch die verschiedenartigen Reservestoffe der Fall sein. GOMEZ- CAMPO u. DELGADO (1964) vermuten ebenfalls chemische Faktoren, die in Cruciferensamen für die Resistenz in Frage kommen würden. GELIN u. Mitarb. (1958) und EHRENBURG u. Mitarb. (1955 b) fanden bei ihren Untersuchungen mit Pisum und Hordeum, daß die Unterschiede in der Sensibilität von Sorten einer Art ausgeglichen werden, wenn statt mit Gamma- bzw. Röntgenstrahlung mit Strahlen einer höheren spezifischen Ionisation (z. B. thermische und lang-

same Neutronen, RBW 2-10) gearbeitet wird. Bei einer RBW = 1 können Schutzstoffe die aus freien OH - Radikalen gebildete Säule längs der Strahlenbahn noch teilweise neutralisieren; bei höherer spezifischer Ionisation ist dagegen die örtliche Konzentration der OH - Radikale derart hoch, daß ein Schutzstoff in mehrfach molarer Konzentration vorliegen müßte, um eine Peroxydbildung und die damit verbundene Schädigung der Zellinhaltsstoffe bzw. der Zellmikrostrukturen zu verhindern (LEA 1947, DALE u. Mitarb. 1949).

Neben ölhaltigen Samen wurden in meinen Versuchen auch mehrere Arten mit einer Speicherung von verschiedenen Kohlehydrattypen ("normal", "waxy" und "sugary") auf einen Zusammenhang mit ihrer Sensibilität untersucht.

Außer reservestoffbedingten Einflüssen auf die Strahlenresistenz spielen zweifellos auch genetisch bedingte Faktoren eine wichtige Rolle. Falls Mutationen mit letaler oder subletaler Auswirkung die Sensibilität erheblich mitbestimmen, ist zu erwarten, daß polyploide Arten oder Sorten resistenter sind als vergleichbare diploide. Mutationen, die im diploiden Organismus eine dominante deletäre Wirkung entfalten, können sich bei Polyploidie wegen der größeren Reserve an unveränderter genetischer Struktur nicht manifestieren. Eine geringere Mutationsrate in den F_1 und F_2 polyploider Arten, verglichen mit den diploiden Verwandten, hat STADLER (1929) erstmals experimentell bei den Gattungen Triticum und Avena nachgewiesen. Doch bleibt es zunächst, aus den eingangs erwähnten Gründen der komplexen Natur der "Sensibilität" fraglich, ob dieser genetische Grund allein eine ausreichende Erklärung abgibt. Außerdem sind offenbar keineswegs alle hochresistenten Arten polyploid oder alle polyploiden Arten hochresistent. Um hier weitere Erfahrungen zu sammeln, wurden auch einige polyploide (auto- und allopolyploide) Art- und Sortenpaare in die Untersuchungen einbezogen.

Bei gleichem Reservestofftyp könnte auch die "Vitalität" für die Überwindung des Strahleninsults bedeutungsvoll sein. Die genetische Komponente dieser Eigenschaft wird besonders deutlich beim Vergleich von Linien mit Inzuchtdepression und ihren heterotischen F_1 - Bastarden. Auch die erhöhte Massenwuchsleistung von Kulturpflanzen gegenüber ihren Wildformen kann als ein Ausdruck der durch die genetischen Vorgänge bei der Züchtung geförderten Vitalität gewertet werden. Da über den Einfluß der genetisch bedingten Vitalität auf die Sensibilität bei Bestrahlung bisher nur sehr wenig Beobachtungen vorlagen, wurden geeignet erscheinende Sortengruppen in die Versuche einbezogen.

Bei einer Schutzstoffbehandlung von Zellen setzt sich die gesamte protektive Wirkung aus der Summe der wirksamen Konzentrationen der zelleigenen und der eingebrachten Schutzstoffe zusammen. Bei einer hohen Wirksamkeit der eingebrachten Schutzstoffe ist der Effektanteil zelleigener Schutzstoffe gering. Sind daher sorteneigene Schutzstoffe für die unterschiedliche Resistenz von Sorten einer Art verantwortlich, so müßten nach einer Behandlung mit hochwirksamen Schutzstoffen diese Unterschiede ausgeglichen bzw. zumindest verringert sein. Bei gleichem Reservestofftyp wäre ein Nichtangleichen der Resistenz ein Hinweis dafür, daß die Qualität des Genoms, d. h. in diesem Fall die Vitalität, bei der Überwindung der Strahlenschädigung ausschlaggebend ist. Auch zu dieser Frage wurden einige Versuchsreihen angesetzt.

II. Material und Methode.

1. Material.

Für die Bestrahlungsversuche wurden Samen folgender Arten bzw. Sorten verwendet (alphabetische Reihenfolge):

Gattung	Art/ Sorte/ Kennzeichen	Herkunft
<u>Anethum</u>	<u>graveolens</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München.
<u>Brassica</u>	<u>nigra</u> <u>rapa var. silvestris:</u> "Winterrübsen" 2n, 4n <u>oleracea acephala crispa:</u> "Grünkohl" 2n, 4n <u>oleracea acephala plana:</u> "Markstammkohl" 2n, 4n	" " Prof. Dr. G. Olsson Sveriges Utsädesfö- reniging, Svalöf, Schweden. " "
<u>Cannabis</u>	<u>sativa</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München.
<u>Carum</u>	<u>carvi</u>	" "
<u>Cleome</u>	<u>spinosa</u> (lila- u. weißblühend)	Botanischer Garten München.
<u>Coriandrum</u>	<u>sativum</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München.
<u>Fagopyrum</u>	<u>sagittatum</u>	" "
<u>Foeniculum</u>	<u>vulgare</u>	" "
<u>Helianthus</u>	<u>annuus</u>	" "
<u>Hordeum</u>	<u>agriocrithon</u> <u>spontaneum</u>	Prof. Dr. H. Stubbe Inst. f. Kultur- pflanzenforschng. Gatersleben.

<u>Hordeum</u>	<u>vulgare:</u> "Bruns Wisa" (Braugerste) "Firlbecks Union" (Braugerste) "Braugerste" "Futtergerste"	Bayr. Landessaat- zuchtanst. Weißen- stephan b. München BAYWA- Gen. München " "
<u>Lesquerella</u>	<u>auriculata</u> <u>densipila</u> <u>grandiflora</u> <u>perforata</u>	Dr. H. S. Gentry, Crops Res. Div. Beltsville, USA. " "
<u>Lepidium</u>	<u>sativum</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München " "
<u>Linum</u>	<u>usitatissimum</u> <u>angustifolium</u>	Prof. Dr. H. Stubbe, Inst. f. Kulturpflf. Gatersleben. Dr. F. Schötz, Bot. Inst. d. Univ. München.
<u>Oenothera</u>	<u>biennis</u> 2n, 4n <u>blandina</u> 2n, 4n	Samengroßhandl. Schmitz, München. " "
<u>Papaver</u>	<u>somniferum</u> <u>paeoniflorum</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München. " "
<u>Petroselinum</u>	<u>hortense</u>	" "
<u>Pimpinella</u>	<u>anisum</u>	" "
<u>Pisum</u>	<u>sativum:</u> "Primitivform" Markerbse: "Nr. 3080" Schalerbse: "Schalzucker" Schal- x Markerbse: "Mignon" Mark- x Schalerbse: "Cera" Markerbse: "Sprinter" Schalerbse: "Kl. Rheinländer"	Herr E. Loerke, van Waveren & de Bres GmbH. Hann. Münden. " " " " Samenzucht J. Wagner Heidelberg.
<u>Raphanus</u>	<u>sativus</u> (Winterrettich) <u>sat. var. radicola</u> (Hochzucht)	Samengroßhandl. Schmitz, München.
<u>Secale</u>	<u>cereale:</u> "Kungsråg" "Stälwåg" "Värneråg"	Prof. Dr. A. Muntzing Genetiska Institutio- nen, Lunds Universitet Schweden.
<u>Sinapis</u>	<u>alba</u>	Samengroßhandl. Schmitz, München.
<u>Sorghum</u>	<u>vulgare:</u> <u>"normal"- Endosperm:</u> "Atlas" "White Martin" "Redbine 60" <u>"waxy"- Endosperm:</u> "Waxy Atlas" "Leoti" "Ellis" "Dwarf Redlan" <u>"sugary"- Endosperm:</u> Linie: 92 wx Sw x wx Dw F ₂ - 1 - 1	Dr. O. J. Webster, US. Dep. of Agric., Agr. Exp. St. Lincoln, Nebraska, USA. " " " " " " " " " " " "

2. Begründung der Untersuchungsmethoden, Methodik.

Bei der Beurteilung der Keimraten muß beachtet werden, daß außer der Schädigung durch die Bestrahlung auch noch andere Faktoren die Werte bei der Keimung beeinflussen. Nach den Ergebnissen von BÜNNING (1949), BÜNNING u. MÜSSE (1951) und BÜNNING u. BAUER (1952) unterliegen die Keimraten von Samen einer jahreszeitlichen Periodik ("endogene biologische Uhr") mit einer ein- bis mehrgipfigen Häufigkeitsverteilung. In meinen Versuchen wurde diese endogene Rhythmik nicht weiter untersucht; dies erscheint dadurch gerechtfertigt, daß sämtliche Keimraten sowohl bei der Bestimmung der LD 50 wie beim χ^2 -Test auf die gleichzeitig ermittelten Kontrollkeimraten bezogen und die zu vergleichenden Art- und Sortenpaare ("Versuchsabschnitt") jeweils gleichzeitig bestrahlt und ausgesät wurden.

Eine unterschiedliche Lichtempfindlichkeit von Samen während der Quellung und der Keimung (EVENAHI 1965) und eine damit verbundene Keimratenbeeinflussung wurde durch Dunkelquellung und -keimung aller Samen ausgeschaltet.

Auch ohne Bestrahlung beeinflußt die Temperatur während der Keimung die Überlebensraten. Nach Bestrahlung ist die Überwindung des Strahlenschadens temperaturabhängig und scheint somit nach den Ergebnissen mehrerer Autoren stoffwechselbedingt zu sein. Bei niedriger Keimtemperatur (5°C) sind die Überlebensraten der Keimlinge bestrahlter Samen kleiner als bei höherer Temperatur (25°C) (GELIN 1953, EHRENBURG 1955, EHRENBURG u. LUNDQUIST 1957, NATARAJAN u. NARAYANAN 1963). Alle Samen wurden deshalb bei Zimmertemperatur (Ausnahmen: *Zea mays* und *Cleome spinosa* bei 30°C) vorgequollen und zusammengehörige Versuchsabschnitte gleichzeitig ausgesät, um Temperaturschwankungen gleichsinnig auswirken zu lassen.

Ein wichtiger Variator der Keimraten nach der Bestrahlung ist der Wassergehalt der Samen. CONGER u. RANDOLPH (1959) und BHASKARAN (1964) fanden, daß "supertrockene" Samen mit 2 % Wassergehalt empfindlicher als solche mit 5 % Wassergehalt waren. Im allgemeinen steigt jedoch die Sensibilität mit dem Feuchtigkeitsgehalt (GELIN u. Mitarb. 1958, KNAPP 1939 u. 1942, LAMBERT 1933 und NILAN 1956). Aber auch hier spielen offensichtlich stoffwechselbedingte Erholungsvorgänge bei der Überwindung des Strahleninsults eine Rolle. So fanden z. B. EHRENBURG (1955), CALDECOTT (1954), WERTZ (1940) und vor

allem BIEBL (1958 u. 1959) Ausnahmen von dieser Regel, d. h. eine inverse Beziehung zwischen dem Wassergehalt und der Sensibilität bei pflanzlichen Samen. In meinen Versuchen wurden 24 Stunden als Quelldauer gewählt, da es wichtig ist, die Bestrahlung in diejenige Zeitspanne zu legen, in der Quellung, aber noch keine sichtbare Keimung stattfindet. Eine Keimlingsbestrahlung ist stetes ungleich wirksamer als eine Samenbestrahlung; einige Tests mit 36 Stunden Quelldauer ergaben keine signifikanten Änderungen der Überlebensraten, wenngleich der Wassergehalt etwas anstieg. Dies läßt schließen, daß nach 24 Stunden Quelldauer eine reine Samenbestrahlung vorliegt. Die Maxima der Quellung werden bei den einzelnen Arten wohl zu verschiedenen Zeitpunkten erreicht und sind wahrscheinlich reservestoffabhängig. Da alle hochresistenten Cruciferen Öle speichern, so könnte man vermuten, daß ihre extremen LD 50 bei Bestrahlung gequollener Samen auf einen relativ geringeren Quellungsgrad zurückgehen. Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da andere, ebenfalls stark ölhaltige Pflanzensamen keine außergewöhnlich hohen LD 50 bei gleicher Quelldauer hatten, wie sich in der vorliegenden Arbeit zeigte.

CROCKER u. BARTON (1953) fanden, daß offen an der Luft liegende Samen eine jahreszeitliche Schwankung im Wassergehalt aufweisen. Sie konnten diese Feuchtigkeitsschwankungen eindeutig in Zusammenhang mit der relativen Feuchte der Luft während der verschiedenen Jahreszeiten bringen, sodaß kein endogener Faktor, der etwa eine Saugkraftsteigerung der Samen bewirken könnte, für diese Rhythmik verantwortlich ist. In den Versuchen der vorliegenden Arbeit wurden die für "Trockenbestrahlung" vorgesehenen Samen eine Woche lang vor der Bestrahlung im Exsikkator über wasserfreiem Cu-Sulfat aufbewahrt. Ein absolut gleicher Wassergehalt aller verwendeten Samen läßt sich auf diese Weise allerdings wohl kaum erreichen.

Alle Samen wurden sofort nach der Bestrahlung ausgesät, um Erholungsvorgänge während einer Lagerung zu verhindern.

Für einen Teilversuch wurden von einer Sorte meistens 200 Samen in zwei Gruppen verwendet (Grundgesamtheit $N = 2 \times 100$). Für die Bestrahlung gequollener Samen ("Feuchtbestrahlung") wurden die Samen 24 Stunden in mehrmals gewechseltem Leitungswasser bei Zimmertemperatur (Mais und *Cleome spinosa* bei 30° C) zwischen Filtrierpapier bei Luftzutritt vorgequollen.

Alle Versuche wurden mit Gamma- Strahlen radioaktiver Isotope (^{60}Co , ^{137}Cs) durchgeführt, da diese bei einer RBW = 1 gegenüber einer vergleichbaren Röntgenstrahlung (bei gleicher Ionisationsdichte) mehrere Vorteile boten: Hohe Dosisleistung, geringe Absorption bei großer Reichweite und damit die Möglichkeit, Samen zusammengehöriger Versuchsabschnitte gleichzeitig bestrahlen und vergleichen zu können, kein Erwärmen des Bestrahlungsgutes und eine einfache Dosimetrie durch Zeitmessung. Die Dosis wurde über die Bestrahlungsdauer variiert, um einen gleich hohen Energiefluß pro Zeiteinheit zu erhalten. Ein verschieden hoher Energiefluß, wie er sich bei Dosisvariation durch Abstandsänderung ergeben würde, bewirkt bei längeren Bestrahlungszeiten wegen der unterschiedlichen Ionisationsdichte pro Volumeneinheit einerseits voneinander abweichende Rekombinationswerte der freien Radikale und führt andererseits, neben diesen rein physikalischen Parametern, zu schwer überschaubaren, unterschiedlichen Erholungsvorgängen im Stoffwechselgeschehen der verschiedenen Arten..

Für die Bestrahlung der Samen von *Zea mays* und *Sorghum vulgare* wurde die Kobalt- Quelle im Gamma- Feld des "Centro di Studi Nucleari della Casaccia"/ Rom verwendet, die bei einer Aktivität von 140 Curie eine Dosisleistung von 11 krad/ h im Abstand von 10 cm hatte. Die Samen wurden in dünne PVC- Schläuche gesteckt, die Embryonen von *Zea mays* in einer Richtung, und diese ringförmig um die Quelle gelegt; die Schläuche blieben offen, um Luftzutritt durch die Enden zu ermöglichen.

Alle anderen Samen wurden mit der Kobalt- Quelle der "Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie"/ München bestrahlt. Die Aktivität betrug hier 6000 Curie, die Dosisleistung im Bestrahlungsgefäß 400 krad/ h. Das offene Bestrahlungsgefäß wurde bei Luftzutritt zwischen die 8 Isotopenstäbe der Quelle eingefahren.

Nach der Bestrahlung wurden jeweils alle zwei Tage die Überlebensraten der Keimlinge bestimmt. Hierfür wurden die gequollen bestrahlten Samen in Tonschalen mit Humuserde gleichmäßig tief ausgesät. Die Durchschnittstemperatur betrug in München im Gewächshaus ca. 24° , in Rom ca. 35° C. Trocken bestrahlte Samen wurden zunächst 24 Stunden auf Filtrierpapier mit Leitungswasser vorgequollen und dann erst ausgesät.

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse wurden die Werte des 21. Tages nach der Quellung herangezogen. Die Untersuchungen von STEIN u. STEFFENSEN (1959) waren für die Wahl dieses Zeitpunktes maß-

gebend. Diese Autoren fanden, daß bei Zea mays die ersten 6 Laubblätter bereits im Embryo vorgebildet sind. Werden Tunika- Meristem und Apikalzellen des Embryoscheitels letal geschädigt, so kann sich der Embryo durch reines Streckungswachstum zwar zu einem Keimling mit ca. 6 Laubblättern entwickeln, bleibt aber dann stecken und stirbt meistens ab. Ob dies der Fall ist, läßt sich erfahrungsgemäß nach ca. 3 Wochen feststellen. Nur sich weiterentwickelnde Keimlinge wurden als "überlebend" bewertet. Die anderen Gramineen zeigten in der vorliegenden Arbeit gleiches Verhalten; bei den Dikotylen war die letale Schädigung des embryonalen Sproßscheitels meist ebenso erkennbar.

Für die Keimlingsbestrahlung wurde die ^{137}Cs - Quelle der "Bayrischen Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenzucht und Pflanzenschutz" /München mit einer Dosisleistung von 70 rad/ min. verwendet. Alle Keimlinge wurden bis zum Erscheinen des ersten Laubblattpaares in Erde herangezogen. Darauf wurden der noch anhängende Samenrest bzw. die reservestoffhaltigen Cotyledonen abgetrennt, um die Pflänzchen zu autotrophem Wachstum ohne Beeinflussung durch die Reservestoffe zu zwingen. Nach 7 Tagen wurden von jeweils 100 dieser Keimlinge das Trockengewicht und die Länge Sproßspitze - erste Seitenwurzel bestimmt. Weitere 100 Keimlinge wurden lose aufeinanderliegend bestrahlt und sofort wieder in Erde verpflanzt. Nach weiteren 28 Tagen wurde unterhalb der ersten Seitenwurzel die Hauptwurzel abgeschnitten (Ausnahme Monokotyle), in diesem Zustand die Höhe gemessen und wiederum das Trockengewicht bestimmt. Durch diese Behandlung sollte die Variabilität der Wurzelentwicklung bei der Wägung ausgeschaltet werden. Die Trockengewichts- und Höhenzuwachsdaten wurden mit denen unbestrahlter, sonst gleichartig behandelter Kontrollen verglichen.

3. Statistik.

Für die Bestimmung und den Vergleich der Sensibilitäten eignen sich die Berechnung der LD 50 mit den Vertrauensgrenzen durch Probit-Analyse und der χ^2 - Korrelationstest (2 x 2 Tafel). Dabei muß geprüft werden, ob die beobachteten Ereignishäufigkeiten der Hypothese einer Normalverteilung folgen. Dies ist der Fall, wenn die Summenprozentkurve der Überlebensraten nach der Probittransformation oder im Wahrscheinlichkeitspapier eine Regressionsgerade ergibt. Bei einer guten Annäherung der Beobachtungswerte an eine Gerade im halblogarithmischen System sind jeweils bereits 2 Punkte für die graphische Bestimmung der LD 50 ausreichend.

Um die Normalverteilung der Überlebensraten zu prüfen, wurden 6 Vertreter der einzelnen Reservestofftypen mit je 6 Dosen (5, 15, 25, 35, 45 und 55 krad) trocken und gequollen bestrahlt und die Überlebensraten nach Probit- Transformation aufgetragen. Dabei zeigt sich, daß ein geradliniger Verlauf der Regressionskurve nur in einem bestimmten Dosisbereich auftritt. Bei der niedersten Dosis treten, je nach der Höhe der LD 50, Keimraten auf, die von der Richtung der Regressionsgeraden abweichen. Die Gerade biegt bei ca. 5 krad um (besonders deutlich bei Bestrahlung trockener Samen) und bildet eine Schulter. Dies bedeutet, daß im niederen Dosisbereich die Schädigung größer ist als es der Hypothese des Vorliegens einer Normalverteilung entspricht. Erst bei Dosen, die höher als die ungefähre LD 20 sind, ist die Korrelation zwischen Strahlendosis und Strahlenwirkung in der halblogarithmischen Probit- Darstellung linear. Zur Probit-Analyse wurden daher nur Dosen herangezogen, die über der LD 20 liegen. Wenngleich nicht der gesamte Kurvenverlauf zur Beurteilung der Sensibilität verschiedener Arten diskutiert wird, so können die aus dem geradlinigen Teil der Kurve interpolierten LD 50 wohl zu ihrer Charakterisierung verwendet werden.

Da es unvorteilhaft ist, auf der durch graphische Interpolation gefundenen, d. h. ungenauen, LD 50 der Probit- Analyse eine mathematische Berechnung ihrer Vertrauensgrenzen anzuschließen, wurde zum Vergleich von Paaren stets von den absoluten und auf die Kontrollkeimraten bezogenen Beobachtungswerten im χ^2 - Test ausgegangen. Als Nullhypothese soll gelten, daß zwischen den einzelnen Überlebenswerten nach Bestrahlung innerhalb eines Vertrauensintervalles von 95 % kein signifikanter Unterschied besteht. Die Resistenz ölhaltiger Samen ist z. T. derart extrem, daß sich ein χ^2 - Test erübrigt (Werte für $\chi^2 \gg 10$). Stattdessen wurden hier jeweils die LD 50/ 21. Tag bestimmt.

Wegen der niemals 100 %igen Kontrollkeimraten unbestrahlter Samen ergeben sich zur Probit- Analyse zwei Möglichkeiten. Werden die Überlebensraten nach Bestrahlung gleich auf die Kontrollkeimraten bezogen, so wird die LD 50 bei Probit 5,0 abgelesen. Geht man von den absoluten Werten aus, dann muß die "LD 50" jeweils mit der Kontrollkeimrate korrigiert werden. Bei der zweiten Methode liegt der Anfang der Summenprozentkurve statt bei 100 % Überlebender beim Wert der Kontrollkeimrate, was eine Verzerrung des Kurvenverlaufs zur Folge hat.

Im halblogarithmischen System resultiert daraus eine Krümmung der Probit- Geraden und eine Verschiebung des wahren LD 50- Wertes. Besonders bei hohen Dosen führt dies, wegen der schnellen Änderung der numerischen Werte auf der logarithmischen Abszissenteilung (log Dosis), zu nicht unbeträchtlichen Unterschieden der LD 50 bei beiden Bestimmungsarten. In der vorliegenden Arbeit wurde nach der erstgenannten Methode verfahren.

Aus dem Lehrbuch von WEBER (1956) wurden die statistischen Hilfstafeln und die χ^2 - Grenzwerte verwendet.

III. Versuchsdurchführung.

A. Vergleich von Samen mit verschiedener genetischer Konstitution, aber annähernd gleichem Reservestofftyp.

1. Polyploide Reihen.

STADLER (1929) wies nach, daß die F_1 und F_2 polyploider Arten der Gattungen Triticum und Avena geringere Mutationsraten als die der diploiden Verwandten hatten. In diesem Teil der Arbeit soll geklärt werden, ob bereits die bestrahlte P- Generation polyploider Arten bzw. Sorten im Vergleich zu den diploiden weniger stark somatisch geschädigt wird. Für die Versuche stand folgendes Material zur Verfügung:

<u>Secale</u>	<u>cereale</u> :"Kungsråg" 2n, 4n, "Stälwåg" 2n, 4n, und "Värneråg" 2n, 4n.
<u>Brassica</u>	<u>oleracea acephala crispa</u> : "Grünkohl" 2n, 4n, <u>oleracea acephala plana</u> : "Markstammkohl" 2n, 4n, <u>rapa var. silvestris</u> : "Winterrüben" 2n, 4n.
<u>Triticum</u>	<u>monococcum</u> (2x = 14) "Weihestephan" u. "Kelcyras", <u>dicoccum</u> (4x = 28), <u>dicoccoides</u> (4x = 28), <u>durum</u> : (4x = 28) "Beladi", "Dometzkoer Hartgries" u. "Heimes Hartgries", <u>aestivum sp. vulgare</u> (6x = 42) "Lichtis II" u. "Strubes Grano", <u>aestivum ssp. spelta</u> (6x = 42) "Weihestephan" u. "Erfurt",
<u>Triticale</u>	Linien 1, 2, 3, u. 4 (2n = 56)
<u>Oenothera</u>	<u>blandina</u> 2n, 4n, <u>biennis</u> 2n, 4n.

Zwischen den Arten und Sorten dieser Gattungen bestehen jedoch nicht nur Unterschiede in der Chromosomenzahl, sondern auch in der qualitativen Zusammensetzung der Genotypen. Die Triticum-Reihe (außer *T. monococcum*), Triticale sowie die tetraploiden Oenotheren sind als Allo-Polyploide, die tetraploiden Secale- und Brassicasorten als + heterozygote Autopolyploide aufzufassen. Somit ergibt sich die Fragestellung, ob trotz dieser qualitativen Unterschiede eine Korrelation des Strahlenschadens zur Chromosomenzahl nachweisbar ist.

Tabelle 1.

Vergleich der Überlebensraten diploider und tetraploider Sorten nach Bestrahlung trockener und gequollener Samen.

Bemerkung: Das Folgende gilt für alle Tabellen dieser Arbeit und wird nicht jeweils als Begleittext wiederholt: Die Werte gelten für den 21. Tag (Oenothera: 39. Tag) nach der Samenquellung. N_0 = Anzahl der aus der Grundgesamtheit N im Kontrollversuch gekeimten Samen = 100 % rel. Kontrolle = Bezugswert im χ^2 -Test. n = Anzahl der Überlebenden. Signifikanz der Unterschiede bei $\chi^2 > 3,8$ (P = 95 %, Freiheitsgrade = 2¹). Signifikante, verschiedene Überlebensraten sind unterstrichen, χ^2 -Werte » 10 durch +++ ausgedrückt.

Behandlung	diploide Sorte		χ^2 -Wert	tetraploide Sorte	
	n	%		n	%
<u>Secale cereale:</u>					
<u>"Stälwäg"</u>					
N ₀ (N = 100)	58	100		84	100
8 krad trocken	64	<u>110</u>	+++	56	66,6
16,5 krad tr.	76	<u>131</u>	+++	40	59,5
8 krad gequollen	16	27,5	1,2	15	17,8
16,5 krad gequ.	11	18,9	1,9	9	10,7
<u>"Värneråg"</u>					
N ₀ (N = 100)	80	100		62	100
8 krad trocken	75	<u>94</u>	9,1	47	76
16,5 krad tr.	40	50	4,5	42	<u>67,7</u>
8 krad gequollen	4	5	6,0	11	<u>17,7</u>
16,5 krad gequ.	2	2,5	1,3	1	1,6
<u>"Kungsårg"</u>					
N ₀ (N = 100)	60	100		70	100
8 krad trocken	51	85,5	+++	75	<u>107</u>
16,5 krad tr.	41	68,3	+++	79	<u>112</u>
8 krad gequollen	10	<u>16,6</u>	9,7	1	1,4
16,5 krad gequ.	1	1,6	---	0	0

Fortsetzung von Tabelle 1.

Behandlung	diploide Sorte		χ^2 -Wert	tetraploide Sorte	
	n	%		n	%
<u>Oenothera</u>					
<u>biennis:</u>					
N ₀ (N = 100)	39	100		47	100
8 krad trocken	23	74	12,6	43	<u>91</u>
16,5 krad tr.	3	7,6	11,8	19	<u>40</u>
8 krad gequollen	2	5	6,5	12	<u>25</u>
16,5 krad gequ.	1	2,6	4,8	8	<u>17</u>
<u>Oenothera</u>					
<u>blandina:</u>					
N ₀ (N = 100)	34	100		51	100
8 krad trocken	9	26	+++	46	<u>90</u>
16,5 krad tr.	6	17	---	10	19
8 krad gequollen	4	11	---	6	11
16,5 krad gequ.	1	3	---	2	3
<u>Brassica:</u>					
<u>"Winterrübsen"</u>					
N ₀ (N = 200)	86	100		80	100
100 krad trocken	81	94	---	78	97
150 krad trocken	57	66	---	51	65
100 krad gequoll.	56	65	---	54	67
150 krad gequoll.	35	41	---	31	39
<u>"Grünkohl"</u>					
N ₀ (N = 200)	103	100		86	100
100 krad trocken	98	95	---	84	97
150 krad trocken	66	64	13,2	75	<u>86</u>
100 krad gequoll.	48	<u>47</u>	4,5	27	<u>32</u>
150 krad gequoll.	21	20	0,9	13	15
<u>"Markstammkohl"</u>					
N ₀ (N = 200)	53	100		42	100
100 krad trocken	54	101	---	39	93
150 krad trocken	41	77	2,0	27	64
100 krad gequoll.	33	62	1,4	31	74
150 krad gequoll.	19	36	0,6	14	33

Tabelle 2.

LD 50/ 21. Tag (Oenothera: 39. Tag) nach Bestrahlung der trockenen und gequollenen Samen. Dosis in krad.

Art/ Sorte	LD 50		Triticum- Reihe Art/ Sorte	LD 50 gequollen bestr.
	diploid	tetraploid		
<u>Brassica:</u>			<u>T. monococcum:</u>	
"Winterrübsen"			"Weihenstephan"	ca. 0,2
trocken b.	170	172	"Kelcyras"	ca. 0,2
gequollen b.	130	128	<u>T. dicoccum</u>	3,4
<u>"Grünkohl"</u>			<u>T. dicoccoides</u>	3,6
trocken b.	166	324	<u>T. durum:</u>	
gequollen b.	96	70	"Beladi"	3,3
<u>"Markstammkohl"</u>			"Dometzkoer H."	3,2
trocken b.	178	167	"Heimes H."	4,8
gequollen b.	118	126	<u>aestiv. sp. vulg.:</u>	
<u>Oenothera</u>			"Lichtis II"	7,0
<u>blandina</u>			"Strubes Grano"	6,0
trocken b.	2	2,3	<u>aestiv. ssp. spelta</u>	
gequollen b.	2,3	1,6	"Weihenstephan"	ca. 0,2
<u>Oenothera</u>			"Erfurt"	ca. 0,2
<u>biennis</u>			<u>Triticale:</u>	
trocken b.	8,8	15	Linie Nr. 1	3,3
gequollen b.	ca. 0,8	1,9	Linie Nr. 2	2,7
<u>Secale:</u>			Linie Nr. 3	5,1
<u>"Kungsrág"</u>			Linie Nr. 4	7,2
trocken b.	Stim.	46		
gequollen b.	2,2	1,2		
<u>"Stälwág"</u>				
trocken b.	42	35		
gequollen b.	ca. 0,6	3,9		
<u>"Värnerág"</u>				
trocken b.	ca. 32	Stim.		
gequollen b.	4,3	ca. 0,5		

Die Ergebnisse des χ^2 -Tests zeigen, daß weder Auto- noch Allopolyploidie allgemein eine Erhöhung der Resistenz bewirken, wie man annehmen dürfte, falls diese ausschließlich von den Reserven an chromosomal- genetischem Material abhängt. Neben einer Überlegenheit der Tetraploiden ("Kungsrág", *Oenothera biennis*) steht eine ebenso klare der Diploiden ("Stälwág", knapp bei "Värnerág") sowie ein völliges Fehlen eines gesicherten Unterschieds (Cruciferen, *Oenothera blandina*). Bei der Triticum- Reihe steigt zwar die Resistenz mit der Chromosomenzahl, doch bilden die Spelzweizensorten ("Strubes Grano" und "Weihestephan") sowie die Triticale- Linien eine Ausnahme. Der Genom- Qualität kommt also mehr Einfluß auf die Überwindung des Strahlenschadens zu als der Genom- Quantität.

Die Artbegriffe "Triticum monococcum", "T. dicoccum", "T. durum" etc. bedeuten nach ISENBECK u. ROSENSTUEL (1938) eine genetische, d. h. abstammungsgemäße Klassifizierung und korrespondieren nicht mit typischen Mehlqualitäten. Die durum- Sorten zeichnen sich zwar durch einen erhöhten Klebergehalt aus, doch ist die Quantität, wie bei allen Weizensorten, in hohem Maße sortenspezifisch.

Die Triticale- Sorten ($2n = 56$) ähneln in ihrer Resistenz teils dem tetraploiden Hartweizen ($4x = 28$) und teils dem hexaploiden Saatweizen ($6x = 42$), so daß auch hier der Genom- Qualität eine größere Rolle zufällt als der Genom- Quantität. Bei den für Feuchtbestrahlung günstig gewählten Dosen tritt bei Trockenbestrahlung eine sehr unterschiedliche Stimulationswirkung auf die Keimraten der Gramineen ein, die, besonders deutlich bei der Weizen- Reihe, unabhängig von der Chromosomenzahl ist.

2. Wildformen - Zuchtsorten.

Neben den Wildformen treten frei in der Natur Rassen mit höherer "Vitalität" auf; es sind dies aber nicht etwaige tetra- bzw. polyploide (sog. "echte Gigas"), sondern ebenfalls diploide Formen (sog. "diploide Gigas"). Nach SCHWANITZ (1950 a) und SCHWANITZ u. PIRSON (1955) sind diploide Gigas durch vergleichsweise größere Zellen und Zellkerne gekennzeichnet, wobei auch die Chromosomenvolumina gegenüber den Stammformen vergrößert sind. Weiterhin haben diese Pflanzen einen beschleunigten Vegetationszyklus mit zahlenmäßig höherem Blütenansatz, vermehrter Samenbildung, größeren Samen und eine allgemein größere

Massenwuchsleistung (SCHWANITZ 1953). Bemerkenswert ist weiterhin ein breiteres Reaktionsspektrum gegenüber Umwelteinflüssen. Durch züchterische Auslese sind aus derartigen Rassen viele unserer Zuchtsorten hervorgegangen (SCHWANITZ 1950 b).

Ein breites Reaktionsspektrum gegenüber Umwelteinflüssen würde erwarten lassen, daß diese diploiden Gigas den Strahleninsult leichter als ihre Stammformen überwinden. Das vergrößerte Zellkern- bzw. Chromosomenvolumen führt aber andererseits bei einer gleich hohen Bestrahlungsdosis zu einer pro Chromosom höheren Absorptionsdosis. Da man annimmt, daß bereits ein einziger Ionisationsakt den Bruch sowohl dicker wie dünner Chromosomen verursachen kann (SPARROW 1962, dazu LEA 1955), so würde dies im Falle der diploiden Gigas bedeuten, daß bei ihnen mehr Chromosomenbrüche als bei den Wildformen auftreten. Bei einer entsprechend hohen Dosis könnte dies zu vermehrten Zelluntergängen und damit zu Wachstumsdepressionen und Keimratenerniedrigungen führen.

Die Samen der Wildtypen sind jeweils deutlich kleiner als die der Kultursorten. Ein etwaiger Einfluß der Samengröße auf die Strahlenresistenz könnte hier geprüft werden. Es zeigte sich jedoch, daß das relativ größere Verhältnis Samenoberfläche/ Samenvolumen der Wildtypen gegenüber den Gigas- Rassen ohne Bedeutung ist, wofür auch die jeweils gleich großen Karyopsen der Gramineenvertreter sprechen.

Die Ergebnisse der Prüfung einiger Wildtypen und Kulturformen (diploide Gigas) sind in den Tabellen 3 und 4 wiedergegeben.

Tabelle 3.

Vergleich der Überlebensraten von Wildtypen und Zuchtsorten nach Bestrahlung der trockenen und gequollenen Samen, am 21. Tag nach der Quellung. Signifikanz der Unterschiede bei $\chi^2 > 3,8$.

Behandlung:	<u>Wildtype</u>		χ^2 - Wert	<u>dipl. Gigas</u>	
	n	%		n	%
	<u>Linum angust.</u>			<u>Linum usitatiss.</u>	
N ₀ (N = 200)	136	100		180	100
100 krad trocken	119	87,5	1,1	175	97,2
150 krad trocken	109	80,1	0,2	156	86,6
100 krad gequ.	87	63,1	5,0	136	<u>75,5</u>
150 krad gequ.	77	56,7	---	96	53,5
	<u>Vicia angust.</u>			<u>Vicia sativa</u>	
	n	%		n	%
N ₀ (N = 200)	46	100		190	100
16,5 krad trock.	39	84,7	1,9	143	75,2
22 krad trock.	39	84,7	1,9	143	75,2
16,5 krad gequ.	37	<u>80,4</u>	+++	44	23,1
22 krad gequ.	34	<u>73,9</u>	+++	33	17,3
	<u>Triticum dicocc.</u>			<u>Triticum dicoccum</u>	
	n	%		n	%
N ₀ (N = 200)	104	100		190	100
8 krad trocken	98	94,2	---	193	101
16,5 krad trock.	102	98,7	---	189	99,4
8 krad gequollen	11	10,5	---	20	10,5
16,5 krad gequ.	1	0,9	---	2	1,0
	<u>Pisum:</u>			<u>Zuchts.: "Mignon"</u>	
	<u>"Primitivform"</u>				
	n	%		n	%
N ₀ (N = 200)	150	100		60	100
16,5 krad trock.	107	71,3	+++	69	<u>115</u>
22 krad trocken	102	68,0	0,4	38	63,3
16,5 krad gequ.	66	44,0	+++	65	<u>105</u>
22 krad gequoll.	48	<u>32,0</u>	+++	7	11,5

Tabelle 4.

Vergleich der Überlebensraten der Wildtypen *Hordeum spontaneum* und *Hordeum agriocrithon* mit den Zuchtsorten (Braugersten) "Firlbecks Union" und "Bruns Wisa", sowie den Sorten "Braugerste" und "Futtergerste". Bestrahlungsdosis in krad.

Bestrahlungsdosis/ Sorte	N ₀ %		trocken b.				gequollen b.			
			16,5		22		16,5		22	
			n	%	n	%	n	%	n	%
<u>Wildtypen:</u>										
H. spontan.	51	100	95	<u>186</u>	81	158	12	<u>23</u>	2	3,9
H. agriocr.	90	100	170	188	124	<u>137</u>	54	60	3	3,3
<u>Zuchtsorten:</u>										
"Firlbecks U."	124	100	142	<u>114</u>	138	<u>111</u>	0	0	0	0
"Bruns Wisa"	140	100	156	111	144	102	0	0	0	0
"Braugerste"	200	100	179	89	165	82	7	3,5	0	0
"Futterg."	193	100	184	95	175	90	13	<u>6,7</u>	0	0

In Tabelle 4 sind jeweils diejenigen Werte unterstrichen, mit denen sich die Wildtypen und Zuchtsorten am wenigsten unterscheiden.

Bei der Gattung *Hordeum* in Tabelle 4 haben die Wildtypen deutlich höhere Überlebensraten nach der Bestrahlung als die Zuchtsorten. In Tabelle 3 dagegen verhalten sich die Wildtypen im untersuchten Dosisbereich durchwegs uneinheitlich. Beim Paar *Vicia sativa* - *V. angustifolia* zeigte sich die Wildform resistenter, beim Paar *Pisum sativum* "Zuchtsorte" - "Primitivform" dagegen die Kultursorte, im letzteren Falle aber nur bis 16,5 krad. Bei *Linum usitatissimum* - *L. angustifolium* ist ebenfalls die Kultursorte resistenter, doch nur bei einer Dosis (100 krad gequollen bestrahlt) ist der Unterschied signifikant. Überhaupt kein Unterschied der Keimraten ist beim Paar *Triticum dicoccum* - *T. dicoccoides* zu finden.

3. Inzuchtlinien und deren heterotische F_1 - Generation.

Weitere Möglichkeiten, die Bedeutung der genetisch bedingten Vitalität für die Überwindung des Strahlenschadens zu prüfen, bot der Vergleich zwischen Inzuchtlinien mit einer Ansammlung zahlreicher homozygot rezessiver, deletärer Allele und ihrer durch gezielte Bestäubung entstandenen, heterotischen F_1 - Generation. Es ergibt sich auch der Vergleich mit offen bestäubten, reinen Linien, (sog. "open pollinated lines"), die allerdings in diesen Versuchen mit den Inzuchtlinien nicht in genealogischer Verwandtschaft standen. Es handelt sich hierbei um die Endospermvarietäten von Zea mays, die in Teil B, 1 dieser Arbeit behandelt werden. Diese Linien repräsentieren wegen der ständigen Neukombination ihres Genmaterials einen mittleren, "normalen" Vitalitätsgrad. Von Zea mays wurden untersucht:

Inbreds "M 13 R" u. "W 64 A" (normal- Endosp.) und deren F_1
Inbreds "2580" und "8882" (sugary- Endosp.) und deren F_1 .

Tabelle 5.

Vergleich der Inzuchtlinien und ihrer heterotischen F_1 . χ^2 - werte beziehen sich jeweils auf die F_1 und einen Elter. Signifikante Unterschiede ($\chi^2 > 3,8$) sind unterstrichen.

Behandlung	<u>"M 13 R"</u>			<u>"W 64 A"</u>			<u>"M13 R x W64 A"</u>	
	n	%	χ^2	n	%	χ^2	n	%
N_0 (N = 100)	38	100		49	100		92	100
5 krad trock.	42	<u>110</u>	+++	64	<u>124</u>	+++	90	97,9
16,5 krad trock.	39	102	---	54	<u>110</u>	+++	87	94,5
22 krad trock.	41	107	---	75	<u>152</u>	+++	87	94,5
5 krad gequoll.	18	47	6,3	42	<u>85</u>	4,0	65	<u>70,6</u>
16,5 krad gequ.	13	<u>34</u>	+++	2	4	---	0	0
22 krad gequoll.	2	5	---	1	2	---	0	0
	<u>"2580"</u>			<u>"8882"</u>			<u>"2580 x 8882"</u>	
	n	%	χ^2	n	%	χ^2	n	%
N_0 (N = 200)	186	100		94	100		192	100
5 krad trocken	194	104	---	133	<u>141</u>	+++	190	98,9
16,5 krad trock.	190	102	---	118	<u>125</u>	+++	194	101
22 krad trocken	(1)			94	100	---	186	96,8
5 krad gequoll.	179	96	---	90	96	1,2	182	94,7
16,5 krad gequ.	3	1,6	---	11	12	1,7	2	2,1
22 krad gequoll.	0	0	---	0	0	---	0	0

Tabelle 6.

LD 50/ 21. Tag aller Inzucht- und Heterosislinien von Zea mays bei Bestrahlung gequollener Samen. Dosen in krad. Bei Trockenbestrahlung tritt im untersuchten Dosisbereich Stimulation der Keimraten auf (Tabelle 5).

<u>"normal"- Endosperm</u>		<u>"sugary"- Endosperm</u>	
Inbred "M 13 R"	4,9	Inbred "2580"	8,4
Inbred "W 64 A"	8,1	Inbred "8882"	9,9
Heterot "M 13 R x W 64 A"	6,6	Heterot "2580 x 8882"	10,8

Die Überlebenden der Inzuchtlinien und der Heteroten von Zea mays des "normal"- Typs unterscheiden sich von denen des "sugary"- Typs in ihren Absterberaten. Falls der zur Stimulation führende Prozess bei den "normal"- Inbreds sowohl bei Trocken- wie Feuchtbestrahlung stattfindet (Tabelle 5), dann wird bei Feuchtbestrahlung eine Depression der Keimrate durch diese Stimulationswirkung mehr oder weniger kompensiert. Bei den "sugary"- Inbreds tritt bei Trockenbestrahlung ebenfalls eine Stimulation ein, doch erreichen diese Linien bei Feuchtbestrahlung keine höheren LD 50 als ihre F_1 - Generation.

Im triploiden Gewebe des Endosperms entstammen zwei Genome der Mutter "M 13 R" bzw. "2580" und eines dem Vater "W 64 A" bzw. "8882". Sollte also das Endosperm bei der Beeinflussung der Resistenz des Embryos eine Rolle spielen, so müßte die Resistenz der F_1 der homozygoten Mutter näher stehen. Bei Bestrahlung trockener Samen ist dies in gewissem Maße der Fall, während bei Bestrahlung gequollener Samen die Resistenz nicht in dieser Weise korreliert ist.

B. Vergleich von Samen verschiedener Reservestofftypen.

1. Kohlehydrate als Hauptmasse der Reservestoffe.

Bei mehreren Pflanzenarten treten Sorten auf, die eine vom Normaltyp ("normal") abweichende Kohlehydratzusammensetzung im Reservestoffanteil haben. Bei den Gramineen werden diese mit "waxy" und "sugary" bezeichnet. Der Unterschied besteht darin, daß die Zuckereinheiten (Maltose) in den waxy- Sorten gegenüber dem normal- Typ neben der 1, 4- Bindung (Amylose) in stärkerem Maße auch in der 1, 6- Bindung (Amylopektin) vorliegen. Im Amylopektin sind die Maltosegruppen nicht nur wie in der Amylose fadenförmig aneinandergereiht, sondern dazu netzartig untereinander verknüpft. Die sugary- Typen enthalten neben Amylose und Amylopektin im Vergleich zum normal- Typ einen höheren Anteil an wasserlöslichen Polysacchariden (CULPEPPER u. MAGOON 1927).

Beim Weizen werden keine Unterteilungen nach der Kohlehydratzusammensetzung getroffen. Die durum- Sorten sind zumeist reich an Kleber, doch ist der Klebergehalt, besonders beim Saatweizen, jeweils in hohem Maße sortenspezifisch (ISENBECK u. ROSENSTUEL 1938).

Braugersten und Futtergersten unterscheiden sich in den Reservestoffen hauptsächlich dadurch, daß erstere ca. 10 %, letztere ca. 15 % Eiweiße enthalten (HOFFMANN 1939). SPECTOR (1956) fand jedoch bei seinen Untersuchungen eine Sorte mit einem Eiweißgehalt von nur 8,2 %.

Bei *Pisum sativum* unterscheidet man zwischen Markerbsen, die vorwiegend Zucker im Cotyledonennährgewebe speichern, und Schal- (Pal-) erbsen, deren Hauptreservestoff Stärke ist. Im ersten Fall beträgt das Verhältnis Amylose/ Amylopektin 70 % : 2 %, während es bei den Schalerbsen 60 % : 30 % ausmacht (nach FLAT u. Mitarb. 1948).

In den Gramineenkaryopsen kommen Samenöle vor. Einen Überblick über ihre quantitative und qualitative Verteilung gibt Tabelle 7. Während der Keimung steigt der Keimölgehalt an, wobei Tocopherol in hoher Konzentration nachgewiesen wurde (NIETHAMMER u. TIETZ 1961). Tocopherol erwies sich in vitro als Strahlenschutzsubstanz (BACQ u. ALEXANDER 1955) und könnte somit bei einer Keimlingsbestrahlung ein endogener Schutzfaktor sein.

Tabelle 7.

Quantität der Kohlehydrate (= K. H.), Eiweiße und Fette sowie qualitative Verteilung von Fettsäuren (in %) im Gesamtfett von Samen bzw. Karyopsen. Nach SPECTOR (1956).

Art	K. H.	Eiweiß	Fett	Fettsäuren				
				Palmit.	Stearin.	Öls.	Linols.	Linolens.
Hordeum vulg.	78,8	8,2	1,0	9	3	33	54	---
Zea mays	20,5	3,7	1,2	10	3	50	34	---
Secale c.	73,4	12,1	1,7	-21-		18	61	---
Sorghum v.	73,8	11,2	3,5	-11,3-		30	60	---
Triticum v.	68,6	12,6	1,8					
Pisum s.	52,6	23,1	1,9					
Fagopyrum s.	71,7	10,1	1,9					

Tabelle 8.

LD 50/ 21. Tag trocken und gequollen bestrahlter Samen mit Kohlehydraten als Hauptreservestoff. Dosen in krad.

Art	Sorte	Res. Typ	bestrahlt	
			trocken	gequollen
<u>Zea mays:</u>	"Sakashita"	normal	26	6,9
	"Tekutonon"	waxy	23	6,1
	"Gakuryonen"	waxy	29	ca. 1
	"Country Gent."	sugary	36	"
	"Golden Bantam"	sugary	32	"
	"Stowel Ev."	sugary	22	"
<u>Sorghum vulgare:</u>	"Atlas"	normal	61	18
	"W. Martin"	normal	66	42
	"Redbine 60"	normal	--	42
	"Waxy Atlas"	waxy	13	13
	"Leoti"	waxy	82	11
	"Ellis"	waxy	25	10
	"Dw. Redlan"	waxy	18	9
	Sugary- L.	sugary	16	ca. 2
<u>Pisum sativum:</u>	"Primitivf."	normal	27	14,5
	"Kl. Rheinl."	normal	24	17,4
	"Schalzucker"	normal	27	25
	"Sprinter"	sugary	29	20
	"Nr. 3080"	sugary	15	--
	"Mignon"	norm. x sug.	23	19
<u>Hordeum vulgare:</u>	"Braugerste"	wenig Eiweiß	48	5,1
	"Futtergerste"	mehr Eiweiß	42	1,8
<u>Fagopyrum</u>		Kohlehydrate	12	6,6

Bei Bestrahlung gequollener Gramineenkaryopsen werden die sugary- Typen eindeutig stärker als die normal- Linien geschädigt (Tabelle 8); die waxy- Typen erreichen bei Sorghum vulgare die Resistenz der normal- Typen nie, bei Zea mays nur knapp in einem Fall. Bei Bestrahlung trockener Gramineenkaryopsen lassen sich die LD 50 nicht gruppenweise den einzelnen Reservestofftypen normal, waxy und sugary zuordnen. Auch bei den eiweißhaltigen Leguminosen sind die LD 50 unabhängig vom Reservestofftyp verteilt. Die Unterschiede der LD 50 bei Hordeum vulgare (Brau- und Futtergerste) sind bei Prüfung im χ^2 - Test nicht signifikant.

Eine Auswirkung des Endosperms auf die Sensibilität scheint somit nur bei den gequollen bestrahlten Gramineenkaryopsen erwiesen. Aber auch hier ist die Genom- Qualität von ausschlaggebender Bedeutung. So sind bei Zea mays die geselbsteten, homozygoten sugary- Inbreds bei Feuchtbestrahlung (Tabelle 6) deutlich resistenter als die offen bestäubten, reinen sugary- Zuchtsorten (Tabelle 8). Zwischen den manuell geselbsteten Inzuchtlinien und den "open pollinated", reinen Linien besteht jedoch keine genealogische Verwandtschaft.

2. Öle als Hauptbestandteil der Reservestoffe.

Die schon bei den Untersuchungen im ersten Teil dieser Arbeit (Seite 17 und 20) gefundenen extrem hohen LD 50 der Gattungen Brassica und Linum legten die Vermutung nahe, daß ein Zusammenhang mit dem hohen Ölgehalt der Nährgewebe bestehen könnte. Um dies zu klären, wurden weitere Arten mit ölhaltigen Samen oder Früchten herangezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefaßt. Sie zeigt auf den ersten Blick, daß unter den Vertretern dieses Reservestofftyps neben weiteren hochresistenten Arten auch solche mit "normaler", den untersuchten Gramineen- und Leguminosenvertretern entsprechender Resistenz vorkommen.

Die Reservestoffe sind bei den Familien der Cruciferen und Caparidaceen, sowie bei den Gattungen Linum, Cannabis, Helianthus in die Cotyledonen, bei der Gattung Papaver jedoch im Endosperm eingelagert. Die ätherischen Öle der Umbelliferen kommen zum größeren Teil in der Fruchtwand vor. Diese Anordnung könnte einen Einfluß auf die rasche Verfügbarkeit als etwaige Schutzstoffe haben. Wie

Tabelle 9 jedoch zeigt, sind dafür keine Anzeichen gegeben. Ebenso wenig geht die unterschiedliche Resistenz mit der Größe der Samen parallel. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß die Menge und die Zusammensetzung des gespeicherten Öls eine entscheidende Rolle spielen.

Tabelle 9.

LD 50/ 21. Tag trocken und gequollen bestrahlter ölhaltiger Samen.

Dosen in krad. (LD 50 der Umbelliferen am 37. Tag).

Familie/ Art	trocken bestrahlt	gequollen bestrahlt
<u>Mit Senfölen:</u>		
<u>Cruciferen:</u>		
Brassica rapa 2n	170	130
Brassica oleracea pl. 2n	178	118
Brassica oleracea cr. 2n	166	96
Brassica nigra	250	200
Sinapis alba	290	140
Raphanus sativus	240	130
Raphanus sat. var. rad.	178	82
Lepidium sativum	155	148
Lesquerella auriculata	72	2,1
Lesquerella densipila	54	2,5
Lesquerella grandiflora	54	---
Lesquerella perforata	63	16
<u>Capparidaceen:</u>		
Cleome spinosa (violettbl.)	139	71
Cleome spinosa (weißbl.)	230	94
<u>Ohne Senföle:</u>		
Linum usitatissimum	253	166
Linum angustifolium	300	200
Helianthus annuus	30	3,1
Cannabis sativa	35	15
Papaver somniferum	33	7,4
Papaver paeoniflorum	28	6,9
<u>Mit ätherischen Ölen:</u>		
<u>Umbelliferen:</u>		
Anethum graveolens	51	7,5
Carum carvi	--	1,2
Coriandrum sativum	26	6,6
Foeniculum vulgare	18	---
Petroselinum hortense	33	4,2
Pimpinella anisum	20	8,3

Die qualitativen Bestandteile der pflanzlichen Reservestoffe werden für eine etwaige Wirkung als endogene Schutzstoffe im Samen von großer Bedeutung sein; die Wirksamkeit der in Frage kommenden Verbindungen soll im Folgenden näher erläutert werden:

1. Gesättigte Öle und Fette. Diese Verbindungen dürften ebensowenig wie die Kohlehydrat- Vorräte eine Rolle als pflanzliche Schutzstoffe haben.

2. Ungesättigte aliphatische Fettsäuren. Sie könnten wegen ihrer additionsfähigen Doppelbindungen Schutzstoffwirkung haben, und zwar sowohl durch Abfangen von Ionisationsspaltprodukten wie durch Herabsetzung der Sauerstoffspannung im Samen. PAINTNER u. NESBITT (1943) stellten fest, daß die Jodzahl des Öls jahrelang gelagerter Leinsamen nicht erniedrigt war; bei einer Verletzung der Samenschale lag die Jodzahl jedoch deutlich niedriger. Dies würde bedeuten, daß in Samen mit unverletzter Schale Sauerstoff nicht ins Sameninnere eindringen kann und damit eine gewisse Anoxie im Innern herrscht. Bei Beschädigung der Samenschale kann Sauerstoff durchtreten, die gespeicherten Öle werden ranzig und die Zahl der additionsfähigen Doppelbindungen sinkt. Der Jodzahl, die ein Ausdruck der pro Gewichtseinheit des untersuchten Gesamtfettes enthaltener Doppelbindungen ist, wurde deshalb bei den untersuchten ölhaltigen Arten besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Hierfür wurden Literaturangaben herangezogen.

3. Ungesättigte Bestandteile ätherischer Öle. Auch diese Verbindungen könnten ähnlich wie die ungesättigten aliphatischen Fettsäuren wirken. Aus der Familie der Umbelliferen, die ätherische Öle (allerdings zum größten Teil in der Fruchtwand) speichert, wurden mehrere Vertreter bestrahlt.

4. Aldehyde. Sie sind im ätherischen Öl der Umbelliferen enthalten, reagieren leicht mit Sauerstoff (z. B. Benzaldehyd) und könnten ebenfalls Schutzwirkung haben.

5. Senföle.⁺⁾ Die Isothiocyanate, denen die Senföle angehören, sind nach SCHLENK u. BERGMANN (1932) sowie GILDENMEISTER u. HOFFMANN (1959)

⁺⁾ Unter "Senföl" soll in der vorliegenden Arbeiten nicht, wie teilweise in der Literatur über Pflanzenrohstoffe üblich, das Preßöl der Senfarten, sondern allein der Anteil der glycosidisch gebundenen Isothiocyanate im Samenfett einzelner Arten verstanden werden.

Verbindungen, die leicht Radikale an den Säurerest addieren und die durch naszierenden Wasserstoff gespalten werden. Bei Anwesenheit von Licht, Luft und bei Feuchtigkeit sind sie sehr unbeständig. In pflanzlichen Samen sind die Senföle, so z. B. Allylsenföle in den Brassica-Arten, glycosidisch gebunden. BHASKARAN (1964) schließt auf einen "Öl-Zucker-Komplex", der in sehr trockenen, bestrahlten Senfsamen die Zahl der freien Radikale erniedrigen soll.

Somit kommen als Hauptbestandteile pflanzlicher Reservestoffe wohl ungesättigte Fettsäuren, Senföle und in der Familie der Umbelliferen ätherische Öle als Schutzstoffe in Frage. Wie Tabelle 9 zeigt, sind die LD 50 der Umbelliferenvertreter nicht besonders hoch und ähneln denen der Gramineen, sodaß ätherische Öle als wirksame Schutzstoffe in Samen bzw. Früchten ausscheiden dürften.

Bevor der Zusammenhang der extrem hohen LD 50 (> 100 krad) einiger Arten mit den Gesamtfettmengen, der Quantität und Qualität der einzelnen Fettsäuren und der Senföle verfolgt werden soll, muß darauf eingegangen werden, ob die bei Bestrahlung ölreicher Arten gefundene hohe Resistenz nicht mit einem unterschiedlichen Quellungsgrad zusammenhängt. Wie bereits auf Seite 10 erläutert wurde, ändert sich bei einer Verlängerung der Quellzeit von 24 auf 36 Stunden die LD 50 der untersuchten Arten nicht signifikant, wenngleich der Wassergehalt der Samen noch ansteigt. Das Problem der Wahl eines geeigneten Zeitpunktes bei Bestrahlung gequollener Samen wird in der Diskussion eingehender untersucht werden. Bei Trockenbestrahlung sind die extremen LD 50 von *Sinapis alba*, *Raphanus sativus*, *Lepidium sativum* sowie von *Linum* und der Gattung *Brassica* nicht durch einen unterschiedlichen Wassergehalt der Samen verursacht.

Tabelle 10.

LD 50 und Wassergehalt trocken bestrahlter, ölhaltiger Samen (in Prozenten). Ermittlung nach Differenzwägung der bei 95° C zur Gewichtskonstanz getrockneten Samen.

Art	LD 50	Wassergehalt
<i>Brassica nigra</i>	250	7,2
<i>Sinapis alba</i>	290	9,6
<i>Lepidium sativum</i>	155	6,8
<i>Linum usitatiss.</i>	253	8,1
<i>Helianthus annuus</i>	30	5,0
<i>Cannabis sativa</i>	35	8,5
<i>Papaver somnif.</i>	33	4,5

Tabelle 11.

Vergleich der LD 50 aus Trockenbestrahlung mit dem Gesamtfettanteil im Samen. Nach JAMIESON (1949). Werte in %, LD 50 in krad.

Art	LD 50	Gesamtfett	Art	LD 50	Gesamtfett
Brassica n.	250	27 - 33	Petroselin.	33	20
Brassica r.	170	30 - 45	Carum c.	--	15
Sinapis a.	290	24 - 27	Coriandrum s.	26	20
Raphanus v. r.	178	45 - 50	Foeniculum v.	18	10
Linum usitat.	253	32 - 42	Pimpinella a.	20	10
Cannabis s.	35	32 - 35	Anethum g.	51	17
Helianthus a.	30	22 - 32			
Papaver s.	33	44 - 50			

Tabelle 12.

Vergleich der LD 50 aus Trockenbestrahlung mit der Jodzahl (Hanus) des extrahierten Samenfetts. Nach JAMIESON (1949). LD 50 in krad.

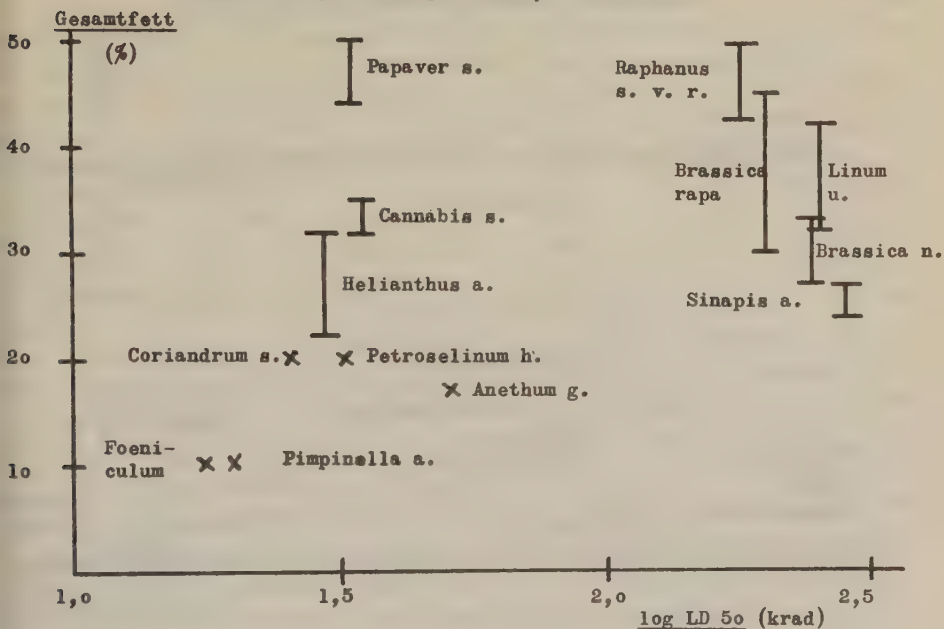
Art	LD 50	Jodzahl	Art	LD 50	Jodzahl
Brassica n.	250	114- 124	Petroselinum	33	109
Brassica r.	170	91,6	Carum c.	--	128
Sinapis a.	290	94- 106	Coriandrum s.	26	93- 100
Raphanus v. r.	178	91- 103	Foeniculum v.	18	99
Linum usitat.	253	140- 190	Pimpinella a.	20	108,6
Cannabis s.	35	150- 166			
Helianthus a.	30	120- 136			
Papaver s.	33	113			

Tabelle 13.

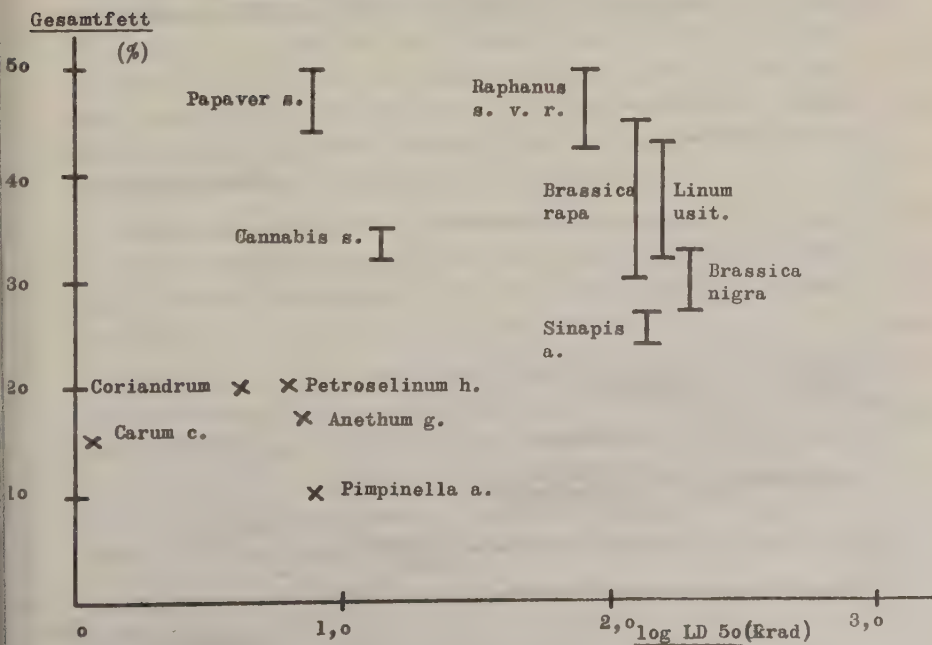
Quantität der einzelnen ungesättigten Fettsäuren im extrahierten Samenfett (in %), sowie LD 50 trocken und gequollen bestrahlter Samen. LD 50 in krad. Nach KAUFMANN (1956) und JAMIESON (1949).

Art	LD 50		Linolens.	Linolsäure	Ölsäure	Erucasäure
	trocken	gequoll.				
Brassica n.	250	200	1,0- 9,9	9,6- 22	12- 37	49,9-64,1
Brassica r.	170	130	2,0	19,5	24,5	50,5
Sinapis a.	290	140	19,5	----	----	52,5
Raphanus sat.	240	130	2,1	14,5	20,2	---
Linum usit.	253	166	25,8- 58	4,5- 23,1	13- 37	---
Cannabis s.	35	15	22,8- 24	49 - 53	11- 30	---
Helianthus a.	30	3	-----	44 - 68	14- 43	---
Papaver s.	33	7	-----	58 - 62	28- 30	---

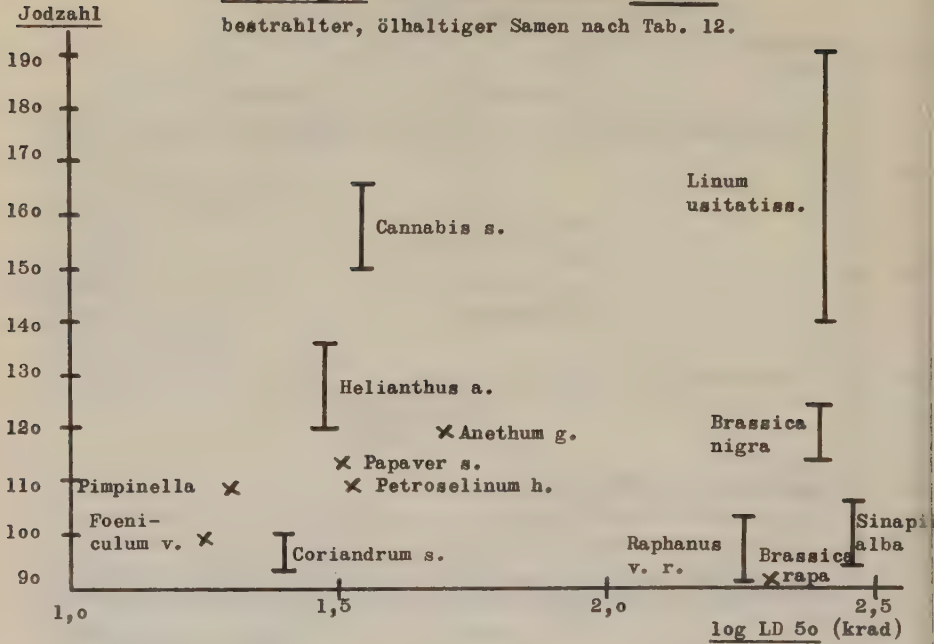
Zeichnung 1. LD 50 und Gesamtfettmenge trocken
bestrahlter, ölhaltiger Samen, nach Tab. 11.



Zeichnung 2. LD 50 und Gesamtfettmenge gequollen
bestrahlter, ölhaltiger Samen, nach Tab. 9 und 11.



Zeichnung 3. LD 50 und Jodzahlen trocken
bestrahlter, ölhaltiger Samen nach Tab. 12.



Zeichnung 4. LD 50 und Jodzahlen gequollen
bestrahlter, ölhaltiger Samen, nach Tab. 9 und 12

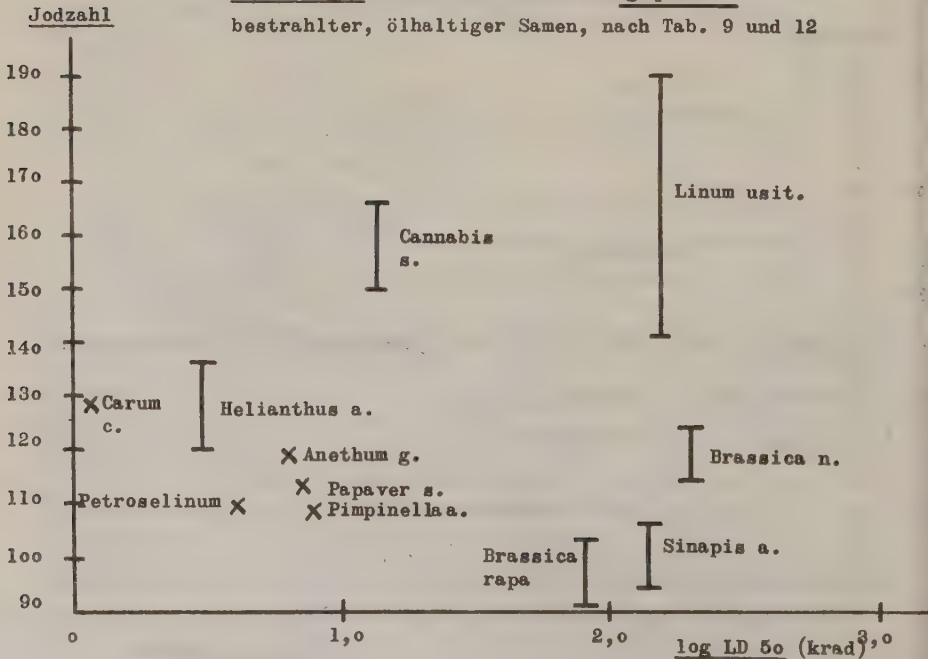


Tabelle 14.

Quantität der Fettsäuren im Samenfett von Umbelliferen. Werte in Prozenten, LD 50 in krad. Nach HILDITCH (1929) und JAMIESON (1949).

Art	LD 50 trocken gequollen		Palmitin- säure	Petroselin- säure	Öl- säure	Linol- säure
Foeniculum v.	18	--	4	60	22	14
Coriandrums.	26	6,6	8	53	32	7
Carum c.	--	1,2	3	26	40	31
Petroselinum	33	4,2	2	76	15	6

Es ist schon lange bekannt, daß bei der Quellung ölreicher Samen zuerst die höher, dann die niedriger ungesättigten Fettsäuren aus den Triglyceriden freigesetzt werden (z. B. CZAPEK 1905). Die Abspaltung erfolgt in der Reihenfolge Linolen-, Linol-, Öl- bzw. Eruca- Säure. Die den Cruciferen eigene Erucasäure ist als Ölsäure mit verlängerter Kette anzusehen. Bei Bestrahlung gequollener Samen könnte der Transport der abgespaltenen ungesättigten Fettsäuren im Stoffwechselgeschehen von Bedeutung für die Verfügbarkeit als Schutzstoffe sein. Da besonders die Linolensäure wegen ihrer additionsfähigen Doppelbindungen Ionisationsspaltprodukte abfangen könnte, erschien es möglich, daß der Gehalt an Linolensäure im Samenfett für die unterschiedliche Strahlenresistenz ölreicher Samenarten ausschlaggebend wäre. Wie Tabelle 13 jedoch zeigt, ist dies nicht der Fall; die extremen LD 50 von Brassica, Raphanus, Sinapis und Linum lassen sich nicht in Zusammenhang mit der Speicherung einer bestimmten ungesättigten Fettsäure bringen. Auch für die Umbelliferen läßt sich keine derartige Korrelation nachweisen (Tabelle 14).

Ebensowenig bringen die Jodzahlen der Samenfette eine Klärung der extremen Resistenz einiger ölreicher Arten (Tabelle 12, Zeichnungen 3 und 4). Cannabis sativa hat zwar wie Linum usitatissimum eine hohe Jodzahl, doch nicht auch eine hohe LD 50.

Versuche mit dem Anquellen sensibler Samenarten im Samenbrei hoch resistenter Arten geben die Möglichkeit zu prüfen, ob die hohen LD 50 der resistenten Samen durch extrahierbare chemische Verbindungen oder durch ihren Genotyp bedingt sind. Als sensible Samenart wurde von Triticum aestivum sp. vulgare (Nacktwoizen) die Sorte "Lichtis II" ausgewählt, um die eventuelle Schutzwirkung des Samen-

breis anderer Arten zu untersuchen. Dabei wurden jeweils trockene Samen im Multimix zermahlen, in Wasser angesetzt und in diesem Brei Karyopsen der Sorte "Lichtis II" 24 Stunden gequollen und dann bestrahlt. Als Kontrolle dienten Karyopsen, die in reinem Leitungswasser gequollen und mit gleicher Dosis bestrahlt wurden. Von den Vertretern mit einer extrem hohen LD 50 wurden *Brassica nigra* und *Linum usitatissimum* gewählt; ebenso wurde die Wirkung des Samenbreis anderer ölhaltiger, jedoch "normal"- resistenter Arten (*Cannabis sativa*, *Papaver somniferum* und *Helianthus annuus* sowie die Sorte "Atlas" der Art *Sorghum vulgare* wegen des hohen Fettgehalts) untersucht.

Tabelle 15.

Schutzwirkung des Samenbreis von *Brassica nigra* und *Linum usitatissimum* auf Weizenkaryopsen: "Lichtis II". Bestrahlungsdosis 16,5 krad, N = 100, Werte in Prozenten.

Behandlung	Tage nach der Quellung								
	7.	9.	11.	13.	15.	17.	19.	21.	35.
Kontrolle	93	94	94	94	94	94	94	94	94
In Leitungswasser gequollen + bestr.	49	54	56	48	17	5	2	0	0
In Linum- Brei gequollen + bestrahlt	57	59	59	46	<u>35</u>	<u>29</u>	<u>24</u>	<u>21</u>	<u>18</u>
In Brassica- Brei gequollen + bestr.	54	58	63	51	44	35	28	27	16

Nach dem Absterben der Koleoptile und der ersten Laubblätter wuchsen aus den mit *Brassica*- oder *Linum*- Brei behandelten Weizenkaryopsen durchwegs Sekundärhalme, während dies bei den in Leitungswasser gequollenen nicht der Fall war. Der Samenbrei von Arten mit niedriger LD 50 (*Cannabis s.*, *Helianthus a.*, *Papaver s.* sowie *Sorghum v.*) konnte die Überlebensraten nicht signifikant steigern. Daraus kann man schließen, daß die Resistenz der ölhaltigen Arten *Brassica nigra* und *Linum usitatissimum* durch extrahierbare Verbindungen und nicht durch die unmittelbare Wirkung des Genotyps hervorgerufen wird. *Linum usitatissimum* (extrem resistent) und *Cannabis sativa* ("normal"- resistent, Tabelle 9) ähneln sich aber stark sowohl im Gehalt an Linolensäure wie in den Jodzahlen (Tabellen 12 und 13). Da aber nur der *Linum*- Brei, nicht aber der von *Cannabis sativa*, Schutzwirkung hat, so könnte die extreme LD 50 des Leins durch eine

in diesen Versuchen nicht erfaßte chemische (lipophile) Verbindung erreicht werden. Die Hemmung des Sauerstoffzutritts in die gequollenen Weizenkaryopsen durch die Fettemulsion des Samenbreis kann nicht die Ursache der Schutzwirkung allein der Brassica- und Linum- Arten sein, da der Ölfilm auch durch den Brei der anderen ölhaltigen Samenarten (Cannabis s., Papaver s., Helianthus a.) gebildet wird. Ein Anquellen der Sorte "Lichtis II" in einem Gemisch Ölsäure/ Wasser im Verhältnis 1 : 1 auf der Schüttelmaschine steigerte die Überlebensraten nach Bestrahlung nicht, ebenso wenig bei Behandlung von Hordeum vulgare- Sorten. Wohl aber konnte durch diese Emulsion Vicia sativa geschützt werden. Versuche mit dem Anquellen der Weizensorte "Lichtis II" in Vitamin C- und Gerbsäurelösungen in weitem Konzentrationsbereich und in Allylsenfölatmosphäre konnten die Überlebensraten ebenfalls nicht erhöhen. Allerdings kann nichts darüber ausgesagt werden, inwieweit das Allylsenföl bereits vor dem Eindringen bzw. beim Permeieren zersetzt wurde.

Außer Linum usitatissimum und Linum angustifolium gehören alle ölreichen Arten mit hoher Resistenz der Familie der Cruciferen an. Selbst die relativ niederen LD 50 der Gattung Lesquerella mit Werten von 54- 72 krad bei Trockenbestrahlung liegen immer noch höher als die der Umbelliferen-, Gramineen- und Leguminosenvertreter. Alle Cruciferen speichern sowohl im Samen wie in der gesamten Pflanze glycosidisch gebundene Senföle; so enthält z. B. Brassica Allylsenföl, Raphanus Methylbutylensulfoxydsenföl und Lepidium Benzylsenföl (SCHULTZ u. GMELIN 1952 u. 1953). Eine Untersuchung von GILDENMEISTER u. HOFFMANN (1959) über den Senfölgelhalt von Cruciferen brachte folgende Ergebnisse:

Tabelle 16.

Quantität von Senfölen in Cruciferensamen. Nach GILDENMEISTER u. HOFFMANN (1959). LD 50 in krad.

Art	Senfölgelhalt (%)	LD 50	
		trocken	gequollen
Sinapis alba	0,18 - 0,21	290	140
Raphanus sativus	0,108 - 0,164	240	130
Brassica nigra	0,5 - 1,4	250	200
Lepidium sativum	0,115	155	148
Brassica oleracea	0,8	116 - 178	96 - 118

Die Arten in Tabelle 16 stehen im Senfölgelhalt an der Spitze der gesamten Familie und werden eben darum z. T. als Gewürzmittel verwendet (KARREN 1958, HEGENAUER 1963, GILDENMEISTER u. HOFFMANN 1959, JAMIESON 1949).

Da die Resistenz ölhaltiger Samen nicht ausschließlich vom Gehalt an ungesättigten Fettsäuren abhängt (Tabellen 11, 13 und 14), so könnten Senföle sowohl bei Samen- wie Keimlingsbestrahlung ein endogener Schutzfaktor sein. Es ist auffällig, daß gerade diejenigen Cruciferenvertreter mit dem höchsten Senfölgelhalt der Familie auch bei Bestrahlung trockener und gequollener Samen die höchsten LD 50 aufweisen. *Lesquerella* bildet bei Feuchtbestrahlung allerdings eine Ausnahme, doch könnte dies durch den Gehalt an besonderen Hydroxyfettsäuren (siehe Diskussion) bedingt sein.

Neben der Familie der Cruciferen speichert auch die der Capparidaceen Senföle in ihren ölhaltigen Samen: Glucocapparin, das durch Fermenteinwirkung in freies Methylsenföl zerlegt wird (HEGENAUER 1963). Mit einem Fettgehalt von 28 - 36 % ähneln die Cleome-Arten in hohem Maße den Brassicaceen. Beide Sippen von *Cleome spinosa* erwiesen sich hoch resistent (Tabelle 9). Dies ist ein starker Hinweis, daß Senföle eine wichtige Rolle als Schutzstoffe spielen, doch darf nicht außer Betracht gelassen werden, daß die Capparidaceen mit den Cruciferen nahe verwandt sind. Die Resistenz könnte in beiden Familien genotypisch bedingt sein. Bei *Drosophila melanogaster* konnten z. B. OGAKI u. TANAKA (1963) die Resistenz gegenüber Gamma-Bestrahlung als chromosomalen Faktor lokalisieren.

C. Bestrahlung junger, autotropher Keimlinge.

Die Schutzwirkung des Samenbreis von *Brassica nigra* und *Linum usitatissimum* sowie das Fehlen einer solchen bei "normal"-resistenten Arten scheint zwar eine starke Stütze für die Vermutung, daß die Resistenz ölreicher Gattungen durch sameneigene Schutzstoffe hervorgerufen wird. Doch müssen diese nicht unbedingt mit den Ölen dieser Gattungen identisch sein, sondern könnten auch durch chemisch ganz andere Begleitstoffe der Öle bewirkt werden. Eine Möglichkeit zur Prüfung dieser Frage besteht in der Bestrahlung von Pflanzen in einem Alter, in dem die Fettreserven der Samen bereits verbraucht sind. Da die Bestrahlungsapparatur eine Bestrahlung größerer Pflanzen nicht zuließ, wurden Keimlinge untersucht, die bereits autotroph wuchsen. Dies wurde

dadurch erreicht, daß vor der Bestrahlung die noch anhängenden Reste der Reservestoffe (Cotyledonen bzw. Samen) abgetrennt wurden. Bei Papaver war dies wegen der Kleinheit der Samen nicht möglich, sodaß dadurch die Meßwerte beeinflußt sein können. Die Zeitspanne zwischen dem Entfernen der Nährstoffgewebe und der Bestrahlung der Keimlinge betrug 7 Tage. Als Meßwerte dienten Trockengewichts- und Höhenzuwachsdaten, wobei 900 rad sich als günstigste Bestrahlungsdosis erwiesen. Einige Vertreter der Gramineen, Umbelliferen und Leguminosen wurden den hochresistenten ölhaltigen Samenarten gegenübergestellt.

Tabelle 17.

Trockengewicht unbestrahlter Keimlinge 10 Tage nach der Keimung (gleich 7 Tage nach dem Entfernen der Reservestoffe), sowie unbestrahlter und mit 900 rad bestrahlter Keimlinge am 38. Tag nach der Keimung. Werte in mg, T. G. = Trockengewicht, Z = Zunahme.

Art/ Sorte	N	Kontrolle			Bestrahlung		II : I
		T.G. nach 10 d	T.G. nach 38 d	% Z = = I	T.G. nach 38 d	% Z = = II	
Brassica (Grünk.)	50	810	7430	917	7890	974	Stimul.
Sinapis alba	50	130	1090	838	980	753	0,90
Lepidium sat.	100	310	3170	1022	2940	948	0,93
Linum usitat.	100	462	3200	692	3060	662	0,97
Helianthus a.	100	3420	21140	618	14860	440	0,71
Cannabis s.	100	2000	19240	962	11870	593	0,61
Papaver s.	200	172	1080	633	990	575	0,90
Coriandrum s.	100	614	1940	317	1370	223	0,61
Pisum: "Mignon"	100	6780	15800	233	7340	108	0,46
Sorghum: "Atlas"	100	380	4320	1136	11870	593	0,61
Zea: "Sakashita"	50	1130	10600	849	4290	379	0,44
Hordeum: "B.Wisa"	100	2340	13210	564	2750	117	0,20
Triticum: "Licht"	100	1970	9240	469	2080	105	0,22

Auch bei Keimlingsbestrahlung erwiesen sich die Vertreter der Gramineen am sensibelsten, gefolgt von denen der Umbelliferen und Leguminosen. Diejenigen ölreichen Samenarten, die bereits bei Samenbestrahlung sich resistent erwiesen, werden auch bei Keimlingsbestrahlung weniger stark als die anderen, samenempfindlichen Arten geschädigt (Quotient II : I der Tabellen 17 und 18). Da man annehmen kann, daß eine Woche nach dem Abtrennen der Reservestoffe der Keimling sich durch Photosynthese entwickelt und keine Reservestoffe mehr im Stoffwechsel der Pflänzchen die Strahlensensibilität beeinflussen, können die gefundenen Ergebnisse als Ausdruck einer somatischen Strahlenschädigung ohne Mitwirkung eventueller sameneigener Schutzstoffe betrach-

tet werden.

Tabelle 18.

Durchschnittshöhe unbestrahlter Keimlinge 10 Tage nach der Quellung, sowie unbestrahlter und mit 900 rad bestrahlter Keimlinge am 38. Tag (Werte in cm, D.H. = Durchschnittshöhe, Z = Zunahme).

Art/ Sorte	Kontrolle			Bestrahlung		II : I
	D. H. nach 10 d	nach 38 d	% Z = = I	D. H. nach 38 d	% Z = = II	
Brassica: Grünk.	2,3	8,3	360	8,1	352	0,97
Sinapis alba	2,3	5,7	247	5,4	234	0,94
Lepidium sativum	2,8	6,9	246	6,2	257	Stim.
Linum usitatiss.	4,6	13,4	291	13,2	287	0,98
Helianthus a.	4,6	22,5	489	17,3	376	0,76
Cannabis s.	12,0	27,5	229	16,3	135	0,59
Papaver s.	1,2	4,2	350	4,2	350	1,00
Coriandrum s.	4,2	9,7	230	5,8	138	0,60
Pisum: "Mignon"	3,1	18,5	596	4,9	158	0,26
Sorghum: "Atlas"	6,8	17,8	261	13,4	198	0,76
Zea: "Sakashita"	5,4	28,5	527	12,5	231	0,43
Triticum: "Lichtis"	11,0	26,0	596	4,9	158	0,26
Hordeum: "B.Wisa"	7,1	32,0	450	8,3	118	0,26

D. Die Auswirkung einer Schutzstoffbehandlung von Samen.

Ein Same ist allgemein umso sensibler, je höher in ihm der Sauerstoffdruck (NILAN 1956, KIHLMANN 1958, NATARAJAN 1961, NATARAJAN und NARAYANAN 1963) und der Wassergehalt ist (LAMBERT 1933, KNAPP 1939, EHRENBURG 1958); von einigen Autoren wurde aber auch festgestellt, daß nicht immer mit der Zunahme des Wassergehalts eine Erhöhung der Sensibilität verbunden ist und daher inverse Beziehungen möglich sind (BIEBL 1958, 1959, CALDECOTT 1954, EHRENBURG 1955 und WERTZ 1940). Dies gilt bei sofortiger Keimung nach der Bestrahlung, bei gleicher Dosisleistung etc. und gleicher Temperatur während und nach der Bestrahlung (NATARAJAN u. NARAYANAN 1963). Die Ursache für die Abhängigkeit biologischer Wirkungen von physikalisch- chemischen Faktoren sieht LEA (1947) in der Zerlegung des Wassers durch ionisierende Strahlungen in Ionen und freie Radikale (hauptsächlich H^+ , OH^+ und H_2^+), die in der Zelle eine gewisse Strecke diffundieren können (Theorie der indirekten Trefferwirkung). Bei Anwesenheit von Sauerstoff rekombinieren diese freien Radikale nur mehr teilweise und bilden stattdessen Peroxyde, die ihrerseits wiederum durch oxydativen Zerfall Zellinhaltsstoffe und Zellmikrostrukturen angreifen. Diese indirekte Wirkung der

ionisierenden Strahlung kann durch chemische Substanzen teilweise verhindert werden (BACQ u. ALEXANDER 1955, BARRON 1954). Durch ihr Reduktionsvermögen treten diese Schutzstoffe, meistens Sulfhydryle (aus der botanischen Literatur: BACQ 1957, BIEBL 1962, EKER u. PIHL 1962, HAGEN u. KOCH 1957, LANGENDORFF 1954 a, b, MICHAELSEN 1952, 1954, 1955 a, b, ORMEROD u. ALEXANDER 1962 a, PATT u. Mitarb. 1949, HAJEWSKY 1957, REINHOLZ u. AURAND 1954, RILEY 1955, WOLFF 1954), in Konkurrenz zu strahlenempfindlichen "biologischen" Molekülen (ORMEROD 1962 b) und setzen den Partialdruck des Sauerstoffs in der Zelle herab. Außerdem können abgespaltene Schwermetallionen von Schutzstoffen durch Komplexbildung abgefangen werden (ALPER u. Mitarb. 1962, ORMEROD 1962 b).

Veränderungen der Sekundär- und Tertiärstrukturen der DNS können indirekt durch aggressive Reaktionsprodukte der Bestrahlung oder direkt durch Energieaufnahme aus den einzelnen Ionisationsakten hervorgerufen werden. Ist eine derartige Änderung einmal erfolgt, so kann sie nachträglich durch Schutzstoffe nicht mehr rückgängig gemacht werden (BACQ 1957, DUBININ u. Mitarb. 1961). Nur ORMEROD (1962 a) sieht die Restitution eines von der DNS abgespaltenen Wasserstoffatoms durch Protonendonatoren, wie Cysteamin, als möglich an.

Eine genügend hohe Schutzstoffkonzentration in der Zelle verringert bzw. verhindert bei aerober Bestrahlung die indirekte Schädigung der DNS in der Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur und die von Enzymsystemen durch die im Wasser des Cytoplasmas bzw. des Kernsaftes gebildeten freien Radikale und führt somit zu einer meßbaren Verringerung des Strahlenschadens. Direkte Treffereignisse und ihre Wirkungen im molekularen Bereich werden durch Schutzstoffzugabe nicht verhindert.

Die gesamte protektive Wirkung von Schutzstoffen in der Zelle setzt sich zusammen aus der Summe der wirksamen Konzentrationen der zelleigenen und der eingebrachten Stoffe zusammen. Sind für die Unterschiede in der Resistenz pflanzlicher Samen sorteneigene Schutzstoffe verantwortlich, so müßten nach einer Bestrahlung schutzstoffbehandelter Samen diese Unterschiede ausgeglichen bzw. zumindest verringert sein. In die Versuche über diese Fragestellung wurden neben Arten mit Reservestoffvarietäten auch solche mit Vitalitätsunterschieden bei gleichem Reservestofftyp einbezogen.

Tabelle 19.

Überlebensraten (in Prozenten) der Keimlinge in Schutzstofflösung gequollener Samen von Sorghum vulgare nach Bestrahlung mit 45 krad am 21. Tag nach der Quellung. N = 160, c = $5 \cdot 10^{-3}$ M BAL und Cysteamin-HCl.

Sorte	Res. Typ	Kontr.	gequoll. bestr.	BAL		Cysteamin	
				unbestr.	bestr.	unbestr.	bestr.
Atlas	normal	85,6	21,2	80,6	80,0	85,6	70,6
W. Martin	normal	91,2	43,7	86,8	93,1	89,3	89,3
Redbine	normal	81,2	37,5	76,8	73,6	84,3	74,3
Waxy Atlas	waxy	58,7	5,0	53,6	44,3	55,6	41,2
Leoti	waxy	89,3	19,3	90,0	73,7	94,3	80,0
Ellis	waxy	93,1	23,1	96,2	80,6	91,8	76,8
Dw. Redlan	waxy	73,7	1,8	73,1	53,1	76,8	101,7
Sugary- L.	sugary	33,7	0	28,1	0	37,5	0

Tabelle 20.

Überlebensraten (in Prozenten) der Keimlinge in Schutzstofflösung gequollener und bestrahlter Samen von Pisum sativum am 21. Tag nach der Quellung. Schutzstoff Cysteamin-HCl in c = 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$ und $2 \cdot 10^{-3}$ M. Bestrahlungsdosis 16,5 krad, b = bestrahlt, u = unbestrahlt. N = 100.

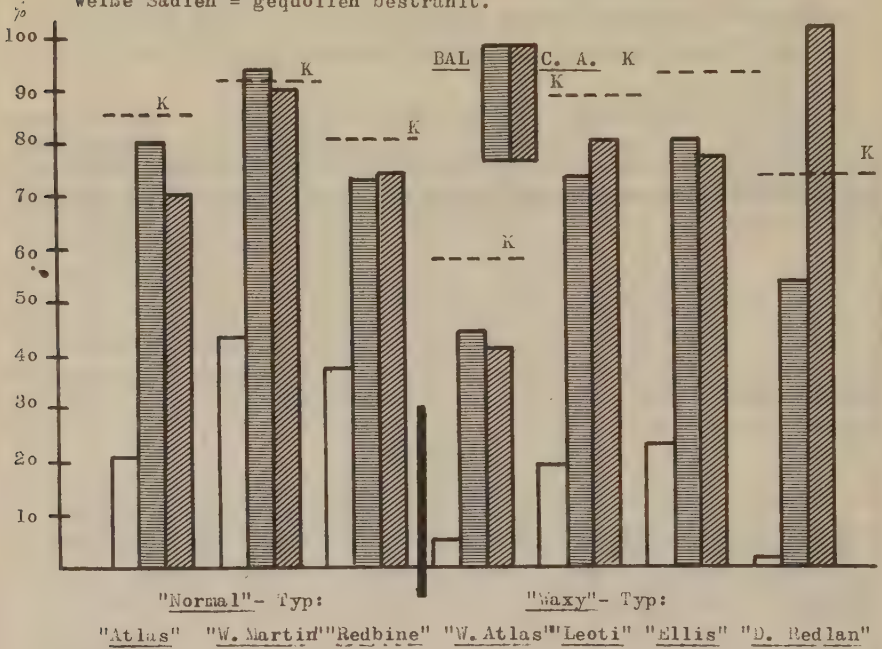
Sorte	Res. Typ	Kontr.	gequoll. b.	$2 \cdot 10^{-3}$		$5 \cdot 10^{-3}$		10^{-2} M	
				u.	b.	u.	b.	u.	b.
Kl. Rheinl.	normal	100	55	100	<u>71</u>	100	<u>75</u>	97	<u>80</u>
Schalzucker	normal	45	25	42	<u>33</u>	44	<u>43</u>	44	<u>50</u>
Cera	sugary x	4	6	20	<u>45</u>	25	<u>36</u>	19	26
	normal								
Mignon	normal x	30	32	32	<u>46</u>	26	<u>52</u>	19	<u>40</u>
	sugary								
Sprinter	sugary	95	70	98	<u>73</u>	97	<u>78</u>	93	<u>85</u>
Nr. 3080	sugary	49	10	48	<u>30</u>	54	<u>44</u>	49	<u>45</u>

Tabelle 21.

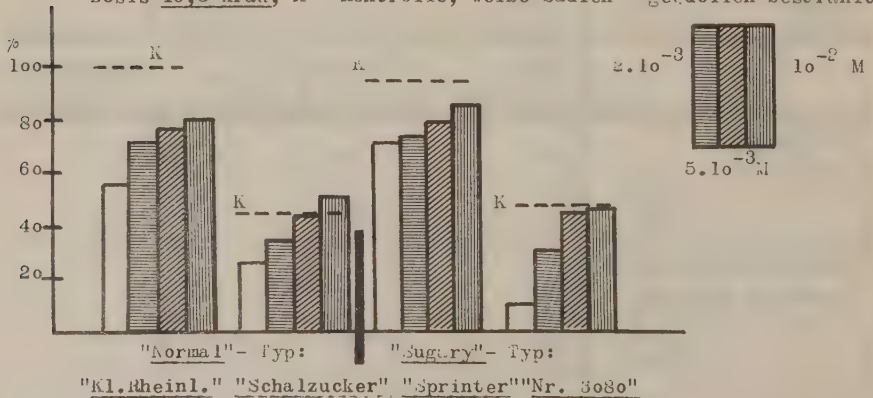
Überlebensraten mit und ohne Schutzstoff gequollener und bestrahlter Samen von Zea mays: Inbreds und Heteroten am 21. Tag nach der Quellung. Schutzstoffe BAL und Cysteamin- HCl (= C. A.). n = Anzahl der Überlebenden. Signifikanz der Schutzwirkung bei $\chi^2 > 3,8$ (P = 95 %, F. G. = 1).

Strahlendosis/ Behandlung/ c	M 13 R n χ^2	W 64 A n χ^2	M13R x W64A n χ^2
<u>Kontrollen:</u>			
N (N = 100)	38	49	92
+ BAL: 2.10 ⁻³ M	44	68	56
5.10 ⁻³ M	45	67	57
10 ⁻² M	0	0	0
+ C.A.: 2.10 ⁻³ M	37	28	89
5.10 ⁻³ M	38	30	91
<u>5 krad Bestrahlung:</u>			
gequollen bestrahlt	23	42	71
+ BAL: 5.10 ⁻³ M	-- --	-- --	-- --
10 ⁻² M	-- --	-- --	-- --
+ C.A.: 5.10 ⁻³ M	31 1,6	28 --	81 3,7
10 ⁻² M	33 2,4	31 --	86 6,6
<u>16,5 krad Bestrahlung:</u>			
gequollen bestrahlt	20	4	1
+ BAL: 2.10 ⁻³ M	0 --	0 --	0 --
5.10 ⁻³ M	0 --	0 --	0 --
10 ⁻² M	0 --	0 --	0 --
+ C.A.: 2.10 ⁻³ M	0 --	3 --	13 11,0
5.10 ⁻³ M	8 --	2 --	13 11,0
10 ⁻² M	35 ++	37 ++	19 18,0
<u>22 krad Bestrahlung:</u>			
gequollen bestrahlt	14	0	0
+ BAL: 5.10 ⁻³ M	1 --	1 --	24 ++
+ C.A.: 5.10 ⁻³ M	0 --	0 --	4 --
<u>2580</u>			
	n χ^2	n χ^2	n χ^2
<u>Kontrollen:</u>			
N (N = 200)	186	94	192
+ C.A.: 2.10 ⁻³ M	177	71	193
5.10 ⁻³ M	160	73	195
10 ⁻² M	165	77	77
<u>16,5 krad Bestrahlung:</u>			
gequollen bestrahlt	11	14	44
+ C.A.: 2.10 ⁻³ M	117 ++	40 ++	108 ++
5.10 ⁻³ M	84 ++	35 10,2	82 ++
10 ⁻² M	131 ++	34 9,6	113 ++

Zeichnung 5. Überlebensraten der Keimlinge von Sorghum vulgare am 21. Tag nach der Quellung. Dosis 45 krad, Schutzstoffe BAL und Cysteamin- HCl (= C. A.) in $c = 5 \cdot 10^{-3}$ M. K = Kontrolle, weiße Säulen = gequollen bestrahlt.



Zeichnung 6. Überlebensraten der Keimlinge der "normal"- und "sugary"- Sorten von Pisum sativum am 21. Tag nach der Quellung. Schutzstoff Cysteamin- HCl bei $c = 2 \cdot 10^{-3}$, $5 \cdot 10^{-3}$ u. 10^{-2} M. Dosis 16,5 krad, K = Kontrolle, weiße Säulen = gequollen bestrahlt.



In Tabelle 8 schien die Sensibilität gequollen bestrahlter Gramineenkaryopsen vom Endospermtyp beeinflusst zu sein, was die sugary-Mutanten betrifft; die normal- und waxy- Typen zeigten dagegen keine gruppenweise Abhängigkeit von den Reservestoffen. Bei einer Schutzstoffbehandlung werden nach Bestrahlung die normal- und waxy- Typen von *Sorghum vulgare* ohne Ausnahme sehr stark geschützt (Tabelle 19, Zeichnung 5), während eine gleich hohe Schutzstoffkonzentration beim sugary- Typ ohne Wirkung bleibt. Diese Linie wird durch die (Feucht-) Bestrahlung bereits derart geschädigt, daß auch hohe Schutzstoffkonzentrationen den Strahleninsult nicht mehr überwinden helfen können. Bei *Pisum sativum* (Kotyledonennährgewebe) ist die Schutzwirkung deutlich und unabhängig von der Zusammensetzung der Reservestoffe (Tabelle 20, Zeichnung 6). Bereits bei Feuchtbestrahlung allein (Tabelle 8) ließ sich kein Einfluß der Reservestoffe feststellen.

Bei den Inzucht- und Heterosislinien des sugary- Typs von *Zea mays* war die Schutzwirkung unabhängig von der Vitalität der untersuchten Sorten. Bei den normal- Sorten konnten die Inbreds nicht in dem Maße wie ihre heterotische F_1 - Generation geschützt werden (χ^2 in Tabelle 21). Bei allen sugary- Sorten, sowohl Inbreds wie deren F_1 , ist die Schutzwirkung gegenüber den normal- Sorten beträchtlich. Die sugary- Typen haben demgemäß keine Beeinflussung durch die Vitalität erfahren, wohl aber die normal- Typen.

Bereits bei den Schutzstoffkontrollen zeigen sich Unterschiede zwischen den normal- und sugary- Inbreds: Bei den normal- Inbreds tritt durch das Quellen in Schutzstofflösung eine Reizwirkung ein, die bereits ohne Bestrahlung die Keimraten erhöht (Tabelle 21). Gegenüber den in Leitungswasser gequollenen Karyopsen ließe sich somit eine geringere Schädigungsrate nach der Bestrahlung erwarten, da diese Reizwirkung die Schädigungsrate kompensieren müßte. Dazu käme noch die protektive Wirkung des Schutzstoffs. Trotzdem zeigt sich, daß Reiz- und Schutzwirkung sich nicht addieren, sondern daß im Gegenteil die normal- Inbreds bei Schutzstoffbehandlung + Bestrahlung stärker geschädigt werden als die in reinem Leitungswasser gequollenen und bestrahlten Karyopsen. Dies deutet wiederum auf die Vitalität der einzelnen Sorten bei der Überwindung des Strahlenschadens hin.

IV. Diskussion.

In den Versuchen dieser Arbeit wurde der komplexe Begriff "Sensibilität bei Samenbestrahlung" nach der Teilungsfähigkeit der meristematischen Scheitelzone des Embryos beurteilt. Der Überwindung des Strahleninsults in diesen Zellen kommt ausschlaggebende Bedeutung zu, wobei eine Menge Faktoren modifizierend sein können. Diese Faktoren, die bei Bestrahlung pflanzlicher Samen mit ionisierenden Strahlen einen Einfluß auf die Überlebensraten haben, können in vier, z. T. ineinander übergehende Gruppen zusammengefaßt werden:

1. Physikalische Faktoren: Strahlenart, Reichweite, Ionisationsdichte, Dosisleistung, sowie Temperatur während und nach der Bestrahlung.

2. Zeitfaktoren: Bestrahlungsmodus (hohe - niedere Dosisleistung, Bestrahlung kontinuierlich oder fraktioniert), Aufbewahrungszeit (u. U. mit Erholung) bei verschiedener Temperatur, verschiedenen Gas- Partialdrucken und verschiedener relativer Feuchte, Alterung des Samenmaterials.

3. Genetische Faktoren: Resistenz- bestimmende Erbfaktoren, Vitalität (Inzuchtdepression, Wild- und Kulturgenotyp), Polyploidiegrad. Dazu kommen morphologische Größen, wie Zellkern- und Chromosomenvolumina, die für die Menge der absorbierten Energie ausschlaggebend sind (SPARROW u. EVANS 1961, SPARROW 1962).

4. Chemische Faktoren: a) im Embryo, b) im Nährstoffgewebe (Endosperm bzw. Kotyledonen), c) im Fruchtgewebe: Wassergehalt und Sauerstoffdruck während und nach der Bestrahlung, reaktionsfähige (reduzierende) Gruppen, z. B. Sulphydrile und Disulfide, sowie Protonendonatoren (Cysteamin), aber auch Verbindungen, die durch die Bestrahlung Per- und Epoxyde bilden.

Diejenigen Faktoren, die bereits ohne Bestrahlung die Keimraten variieren, wurden bereits in Teil II (Begründung der Untersuchungsmethoden) erläutert.

1. Physikalische Faktoren. Sie scheiden als Ursache für die Sensibilitätsunterschiede aus, da in der vorliegenden Arbeit alle Versuchsgruppen gleichartig behandelt wurden. Zea mays und Sorghum vulgare, die als einzige mit der schwächeren Strahlenquelle des "Centro di Studi Nucleari della Casaccia"/ Rom bestrahlt wurden, bei höherer Temperatur keimten und aufwuchsen, stellen einen eigenen Versuchsabschnitt dar, weil hier bereits Zeitfaktoren mitspielen können.

2. Zeitfaktoren. Da alle Arten, mit Ausnahme von *Zea mays* und *Sorghum vulgare*, mit der gleichen Dosisleistung bestrahlt wurden und die Bestrahlungszeit maximal (bei 200 krad) 30 Minuten betrug, können Zeitfaktoren wohl ebenfalls ausgeschlossen werden. Nach der Bestrahlung wurden alle Samen sofort vorgequollen bzw. in Erde gesetzt. Lediglich die Versuchsergebnisse der normal-, waxy- und sugary- Typen von *Sorghum vulgare* und *Zea mays* können, streng genommen, nur innerhalb dieses in Rom durchgeführten Versuchsabschnittes gegeneinander verglichen werden und nicht mit den anderen, in München untersuchten Arten. Diese Ergebnisse sind in Teil B, 1 zusammengefaßt und stellen unter der Bezeichnung "Kohlehydrate als Hauptmasse der Reservestoffe" ein in sich abgeschlossenes Kapitel dar, das nicht mit anderen Teilen der Arbeit, z. B. den ölhaltigen Samen, statistisch verglichen wird. Nur die LD 50 wurden denen der Cruciferen-, Capparidaceen- und Umbelliferenvertreter gegenübergestellt, um die extreme Resistenz der beiden ersten Familien zu verdeutlichen. Für die Deutung der Gruppenunterschiede zwischen den Vertretern der Gramineen und denen hoch resistenter, ölhaltiger Samenarten sind die verschiedenen Dosisleistungen sicher nicht ausreichend.

Die Keimlingsbestrahlungen mußten mit einer Quelle niedriger Dosisleistung durchgeführt werden, um Versuchsfehler (der Bestrahlungsdosis) wegen der Manövrierdauer des Bestrahlungsapparates möglichst auszuschalten. Die Ergebnisse der Keimlingsbestrahlung wurden deshalb nur insoweit mit denen der Samenbestrahlung verglichen, um die Parallelität der Sensibilitätsreihe beider Bestrahlungsarten bei den einzelnen Familienvertretern aufzuzeigen.

In der Gruppe der Zeitfaktoren könnte der Alterungsgrad des Samenmaterials eine bedeutende Rolle spielen. Es ist erwiesen, daß gealterte Samen nach Bestrahlung stark erniedrigte Keimraten haben (WÖHRMANN u. MICKE 1959). NILAN u. GUNTARDT (1956) kommen in ihren Untersuchungen zu dem Schluß, daß "die Sensibilität der Chromosomen in gealterten Samen zum großen Teil auf chemische Verbindungen zurückzuführen ist, die durch die Zersetzung der Reservestoffe in gealterten Samen entstehen". Das Alter des verwendeten Saatgutes in dieser Arbeit überstieg in keinem Fall 12 Monate, doch altern Samen, je nach Art und Lagerungsverhältnissen, verschieden rasch. Da die *Lesquerella*-Samen in der vorliegenden Arbeit 6 Monate alt waren, so könnte die etwas vom "Familiendurchschnitt" abweichende, niedrigere Resistenz dieser Gattung durch derartige Alterungseinflüsse hervorgerufen sein.

Besonders Cruciferensamen altern schnell. Aber auch GOMEZ- CAMPO u. DELGADO (1964) fanden bei Röntgenbestrahlung trockener Cruciferensamen Arten, die eine LD 50 von nur 40 krad hatten, während die der anderen bei 100- 400 krad lagen. Der Alterungsgrad des Materials geht aus der Arbeit dieser Autoren nicht hervor. Doch die "niederen" LD 50 der Gattung Lesquerella mit 54- 72 krad bei Trockenbestrahlung liegen immer noch höher als die der Gramineen, Umbelliferen und Leguminosen, sodaß die Cruciferen in der vorliegenden Arbeit die resistanteste Familie sind. MIKOLAJCZAK u. Mitarb (1962) fanden, daß in den Samen der Gattung Lesquerella Hydroxyfettsäuren überwiegen (in 14 Arten 45- 74 % Hydroxyeiconsäure, in 2 Arten ca. 15 % einer C₁₈- Hydroxysäure). Vielleicht hängt mit diesen qualitativen Unterschieden der Reservestoffe die geringere Resistenz der Gattung Lesquerella bei Feuchtbestrahlung zusammen.

3. Genetische Faktoren. Polyploidie. Für eine Begünstigung der Resistenz von Polyploiden würde neben der Reserve an genetischem Material auch das vorteilhaftere Verhältnis Zellkernvolumen/ Zellkernoberfläche sprechen. Bei einer Vergrößerung des Kugelradius wächst die Oberfläche in geringerem Maße als das Volumen. Je geringer die relative Kernoberfläche ist (bei Polyploidie), umso weniger können die bei der Bestrahlung des Wassers im Cytoplasma gebildeten aggressiven Verbindungen, wie Peroxyde etc., auf dem Kern einwirken. Die Versuche zeigen, daß Polyploide zwar resistenter sein können, daß dies aber nicht eine Regel von umfassender Gültigkeit ist. So fanden z. B. MATSUYAMA u. MITSUYA (1958), allerdings bei Neutronenbestrahlung, daß diploider Weizen zwar sensibler als tetra- und hexaploider ist, daß aber tetraploider und hexaploider Weizen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Auch NATARAJAN u. Mitarb. (1958) konnten bei tetra- und hexaploidem Weizen keine strikte Korrelation der Sensibilität zur Chromosomenzahl feststellen. In meinen Versuchen erwiesen sich diploide Weizensorten ebenfalls am sensibelsten, die untersuchten Sorten höheren Polyploidiegrades zeigten eine deutliche Abhängigkeit der Sensibilität von der Chromosomenzahl, aber beim hexaploiden Spelzweizen bestand bei beiden Sorten ein großer Unterschied in den LD 50 zum ebenfalls hexaploiden Saatweizen, sodaß hier, wie bei den anderen Artpaaren, die Qualität des Genoms und nicht die Chromosomenzahl die Überlebensraten beeinflusste.

Vitalität. Es ist wichtig zu klären, was in dieser Arbeit unter dem vielgesichtigen Begriff der "Vitalität" verstanden werden soll, da es keine "Standardvitalität" gibt, sondern nur Sorten mit einer jeweils höheren oder niedrigeren Vitalität. SCHWANITZ (1950 a, b, 1955) beurteilte die "Vitalität" nach der Massenwuchsleistung, doch zeigen Beispiele aus der Tierzucht, daß Massenwuchsleistung nicht immer mit "Vitalität" gleichgesetzt werden kann. Auch in der vorliegenden Arbeit wurden die Kultursorten und die Maishybriden, entsprechend ihrer größeren Massenwuchsleistung im Sinne von SCHWANITZ, als die vitaleren gegenüber den Wildtypen bzw. den Inzuchtlinien angesehen.

Bei den Versuchen mit Inzuchtlinien und deren heterotischer F_1 -Generation ergab sich, in einem Fall deutlich, im anderen weniger stark ausgeprägt, daß die Heteroten resistenter sind. Auch NOTANI (1962) fand, allerdings bei Neutronenbestrahlung, daß die Inbreds von *Zea mays* empfindlicher auf die Bestrahlung reagieren als ihr heterotischer F_1 -Bastard. Für eine Erklärung der größeren Sensibilität der (homozygoten) Inzuchtlinien kann eine der Theorien von HALDANE (1954) Geltung haben, derzufolge Heterozygotie den Vorteil hat, daß nicht nur wie bei Homozygoten jeweils eine Enzymvariante mit scharf begrenztem Optimumbereich, sondern ein Enzympaar gebildet wird, was ein größeres Reaktionsspektrum gegenüber Einflüssen der Umwelt zur Folge hat. Dies könnte dazu verhelfen, den Strahleninsult leichter zu überwinden. Diese Erscheinung ist demnach nicht an Heterosis gebunden. Die offen bestäubten, reinen Zuchtsorten waren aber in meinen Versuchen weniger resistent als die extrem polyheterozygoten Heteroten (Feuchtbestrahlung, Tabellen 6 und 8). Polyheterozygotie bedeutet somit einen Vorteil bei der Überwindung des Strahlenschadens. Aber die Ansammlung homozygoter "detrimentals" im Erbgut der Inzuchtlinien gegenüber der schwachen Heterozygotie aus freier Bestäubung bei den Zuchtsorten ist kein absoluter Nachteil. So tritt nur bei den Inbreds eine deutliche Stimulation der Keimraten nach Trockenbestrahlung auf, nicht aber auch bei den reinen Sorten desselben Reservestofftyps.

Wildtypen und Zuchtsorten unterscheiden sich nach SCHWANITZ (1950 a, 1953, 1955) auch dadurch, daß die diploiden Gigas größere Zellkerne und damit größere Chromosomenvolumina haben. Nach SPARROW u. EVANS (1961) und SPARROW (1962) ist jedoch das Volumen der Interphasechromosomen und somit die Größe der Strahlenabsorption in diesem von ausschlaggebender Bedeutung, da sowohl dünne wie dicke Chro-

mosomen bereits durch einen Ionisationsakt gebrochen werden können (SPARROW (1962): LEA (1947)). Dies würde die diploiden Gigas benachteiligen. Doch SPARROW selbst läßt die Möglichkeit offen, daß endogene pflanzliche Schutzstoffe diese weitgehende Korrelation des Strahlenschadens mit dem Chromosomenvolumen beeinflussen können. Die Gültigkeit dieser Hypothese muß auch für die Sensibilitätsunterschiede bei Inzucht - Heterosis und bei Wildtypen - Zuchtsorten fraglich erscheinen, ganz besonders bei nah verwandten Paaren mit stark differierender Sensibilität (sugary-Mutanten, spelta-Sorten). Auch eine Störung im Stoffwechsel der Mutanten kann hierbei eine Rolle spielen; so fanden TEDIN u. HAGBERG (1952), daß die alkaloidfreien Süßlupinen sensibler als die Wildform (Bitterlupinien) sind.

4. Chemische Faktoren. Neben den chemischen Eigenschaften spielt die rasche Verfügbarkeit der Reservestoffe als etwaige Schutzstoffe und damit ihre Lokalisation im Samen eine wichtige Rolle. Bei Arten, die ihre Reservestoffe im Endosperm speichern, besteht eine deutliche Trennung zwischen diesen und dem Sproßscheiden des Embryo, bei Arten mit Kotyledonen-nährgewebe dagegen eine unmittelbare Verbindung.

Es ist schon lange bekannt, daß bei der Quellung bzw. Keimung zuerst das "mobilisierbare", d. h. im Embryo selbst vorhandene Eiweiß und erst dann, nach dem Aufbau eines katalytischen Systems, die Kohlehydrat- und Fettvorräte des Endosperms verwertet werden (HABERLAND 1879, LOIBL 1923, PERCIVAL 1921, WILLSTÄTTER u. WALDSCHMITZ-LEITZ 1924). Bei den Gramineen findet eine Mobilisierung der Stärke über das Scutellum erst nach ca. 2- 3 Tagen statt (JUST 1870), ebenso ist während der ersten Tage nach der Quellung nur eine geringe Beweglichkeit der Fettreserven zu beobachten (DELEANO 1909, MILLER 1910). Reduzierende Zucker, die ein Strahlenschutzfaktor sein könnten, treten erst nach einer Lipolyse auf (IWANOW 1911, HEUMANN 1944). Bei Bestrahlung von Samen nach 24- stündiger Quellung kann somit ein Einfluß der den Embryo umgebenden, unbeweglichen Reservestoffe auf die Strahlenresistenz ausgeschlossen werden. Aber auch bei Trockenbestrahlung könnten Reservestoffe nur dann als Schutzstoffe wirksam werden, wenn sie bereits während der Bestrahlung im Embryo vorrätig sind. Es zeigte sich, daß der Speicherungsart der Reservestoffe in den Kotyledonen selbst nicht die Ursache einer höheren Resistenz sein kann, da bei diesem Speichertyp auch "normal"- resistente Arten (z. B. die der Umbelliferen und Leguminosen) gefunden wurden. Über eine Beteiligung in den Embryozellen enthaltener Redox- Systeme

und Enzyme mit SH- Gruppen kann durch diese Versuche nichts ausgesagt werden.

Wenn auch bei Arten mit Endosperm als Speichergewebe wegen des erst nach der Bestrahlung gequollener Samen in Gang kommenden Stofftransports eine direkte Wirkung der Reservestoffe ausgeschlossen erscheint, so darf die mögliche indirekte Wirkung nicht unbeachtet bleiben. Unter indirekter Wirkung soll bei Feuchtbestrahlung die Beeinflussung des Wassergehalts und des Sauerstoffdrucks im Samen durch die Reservestoffe verstanden werden. Dies wirft die Frage der Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse, besonders bei Feuchtbestrahlung, auf.

Der Idealfall bei Feuchtbestrahlung wäre die gleiche Anzahl Wassermoleküle pro Menge DNS, die praktisch beste Lösung die Bestrahlung gequollener Samen, deren Quotient Wassergehalt/ Trockengewicht ($W : T$) jeweils gleich ist. Die Quellgeschwindigkeit ist von der Art der Reservestoffe abhängig (Kohlehydrate - Öle), und ein bestimmtes Verhältnis $W : T$ stellt sich bei den einzelnen Arten zu verschiedenen Zeitpunkten ein. Ein gleiches Verhältnis $W : T$ bedeutet aber nicht, daß damit bereits der jeweils größtmögliche Quellungsgrad der betreffenden Samenart erreicht ist. Ferner ändert sich die Sensibilität einer Art schnell mit dem Quellungsgrad (DIEBL 1958, 1959. WERTZ 1940, GELIN 1953, KNAPP 1939 u. 1942. LAMBERT 1933 und NILAN 1956). Eine Bestrahlung von Samenarten mit gleichem $W : T$ - Verhältnis wäre ungünstig gewählt, weil sich die Sensibilität von einem bestimmten $W : T$ - Verhältnis zu einem andern innerhalb der Arten unterschiedlich ändern kann. Eine Steigerung der Quellzeit von 24 auf 36 Stunden erhöhte zwar bei den in dieser Arbeit untersuchten Samen den Wassergehalt, doch nicht auch die Sensibilität mit ausreichender statistischer Sicherheit. Die Unterschiede bei Feuchtbestrahlung zwischen "normal"- und hochresistenten Arten können demnach nicht auf den unterschiedlichen Wassergehalt zurückgeführt werden, den die Samen nach 24- stündiger Quellung aufweisen.

Die Samengröße ist ohne Einfluß auf die Sensibilität verschiedener Arten, wenngleich kleinere Weizenkaryopsen innerhalb einer Sorte sensibler als größere sind (FRÖIER u. GUSTAFSSON 1944). Dagegen spielt der Sauerstoffdruck im Samen bei Bestrahlung eine wichtige Rolle. Im Zusammenhang mit dem Quellungsgrad ist dieser modifizierende Einfluß bei

Feuchtbestrahlung schwer zu beurteilen, aber kaum für die extremen Unterschiede in den LD 50 von Bedeutung. Der Zustand der Samenhüllen in Verbindung mit der Art der Reservestoffe hat dagegen offenbar einen Einfluß auf den Sauerstoffdruck im Sameninnern, wie die bereits zitierten Ergebnisse von PAINTNER u. NESBIT (1943) über die Jodzahlen der Fette unverletzter und verletzter Leinsamen zeigen. Die Sensibilitätsunterschiede sind auch nicht dadurch bedingt, daß in den sensiblen Arten bereits der Keimungsstoffwechsel angelaufen ist, wie die Wirkungslosigkeit einer Verlängerung der Quellzeit von 24 auf 36 Stunden auf die Überlebensraten beweist.

Bei der Diskussion der Wirkung von Reservestoffen darf nicht außer Acht gelassen werden, daß diese Verbindungen sowohl schützende wie sensibilisierende Wirkung haben können. Beispiele für eine sensibilisierende Wirkung der Reservestoffe bei Bestrahlung sind die Ergebnisse von BEREZINA u. YASKOVA (1961) und MELETTI u. d'AMATO (1961). BEREZINA u. YASKOVA (1961) konnten nachweisen, daß im unverletzten Maissamen das Endosperm einen sensibilisierenden Einfluß auf den Embryo ausübt: Abpräparierte und dann bestrahlte Embryonen, die auf künstlichem Nährboden zur Entwicklung gebracht wurden, bildeten sich zu blühenden und fruchtenden Pflanzen aus, während die Keimlinge aus intakt bestrahlten Karyopsen bereits am 13. Tag nach gleicher Bestrahlungsdosis abgestorben waren. MELETTI u. d'AMATO (1961) stellten fest, daß bei Embryotransplantationen die Kombination bestrahltes Endosperm + unbestrahlter Embryo zu einer Reduktion der Wurzel- und Sproßlängen gegenüber den Kontrollen führt. Offenbar werden bei der Bestrahlung des Endosperms in diesem sensibilisierende Produkte gebildet, oder, was wahrscheinlicher ist, der Aufbau von Enzymen gestört, so z. B. der Alpha-Amylase, die durch die Gibberellin- Ausschüttung des Embryos im Endosperm während der Keimung gebildet wird (PALEG 1960 a, b, 1961, PALEG u. Mitarb. 1962, VARNER 1964).

Zur Frage der Schutzwirkung von Reservestoffen ist festzustellen, daß alle hochresistenten Arten in dieser Arbeit überdurchschnittliche Mengen Öle im Samen speichern. Bei den Vertretern mit Kohlehydratvarianten ("waxy", "sugary") konnten dagegen keine Anzeichen für eine wesentliche resistenzbestimmende Beteiligung bei der Überwindung des Strahlenschadens gefunden werden. Alle Paar- Unterschiede sind auch ohne Annahme einer schützenden oder sensibilisierenden Wirkung über andere Ursachen deutbar, sodaß keine allgemein gültigen Regeln erkennbar sind. So könnte die gefundene Sensibilität der "sugary"- Varianten

bei Zea mays auch "unmittelbar genetisch" bedingt sein, da die sugary-Inbreds und der sugary-Heterot gar wohl die LD 50 der normal- Typen erreichen, nicht aber die sugary- Zuchtsorten. Bei Drosophila melanogaster konnten z. B. OGAKI u. TANAKA (1963) die Sensibilität gegenüber Gamma- Bestrahlung als chromosomale Faktoren lokalisieren.

Da nur ölhaltige Samen eine extreme LD 50 besitzen, kommen als wichtigste Reservestoffe mit etwaiger Schutzwirkung wohl hauptsächlich ungesättigte Fettsäuren und Senföle in Frage. Doch sind nicht umgekehrt alle ölreichen Arten hochresistent, wohl aber alle Senföl enthaltenden Samenarten und stehen in insoweit über den Vertretern der Gramineen, Leguminosen und Umbelliferen. Da aber die beiden Familien mit senf- ölhaltigen Arten nahe verwandt sind (Cruciferen - Capparidaceen), könnte außer den Senfölen noch ein weiterer, auf der genetischen Verwandtschaft beruhender Faktor, Schutzwirkung geben. Die Versuche über die Schutzwirkung eines Samenbreies zeigten, daß der Schutzfaktor der Brassica- und Linum- Arten vom genetischen Material, bzw. dessen direkter Wirkung, trennbar ist und somit eine chemische Wirkung vorliegt. Die Keimlingsbestrahlungen ergaben, daß nach der Ausschaltung der sameneigenen Reservestoffe die hochresistenten Arten nicht mehr derart überlegen sind wie bei Samenbestrahlung, aber immer noch deutlich genug. Letzteres rührt wohl daher, daß die Senföle nicht nur im Samen, sondern auch in allen anderen Pflanzenteilen vorkommen (SCHULTZ u. GMELIN 1961, 1962). Die Resistenz dieser ölhaltigen Samen wäre somit keine "unmittelbar genetische", sondern eine "unmittelbar chemische".

Beide Linum- Arten sind deutlich resistenter als Cannabis sativa, obwohl sich diese Arten in der quantitativen und qualitativen Ausstattung mit ungesättigten Fettsäuren und in der Jodzahl sehr ähneln. Im Gegensatz zu Linum gibt der Samenbrei von Cannabis sativa keine Schutzwirkung. Dies deutet vielleicht darauf hin, daß die ungesättigten Fettsäuren von weiteren (lipophilen) Co- Faktoren begleitet werden, die für die Resistenz fetthaltiger, senföller Samen ausschlaggebend sind. Im Tierversuch erwiesen sich pflanzliche Öle zwar als Schutzstoffe, doch spielt dabei der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren keine Rolle (CHENG u. Mitarb. 1954, FLEMING 1964). Gesättigte Fettsäuren hatten den gleichen Effekt, wobei z. T. ernährungsphysiologische Vorgänge mitspielen, die einen Schluß auf die Wirksamkeit in pflanzlichen Samen nicht zulassen.

V. Zusammenfassung.

Es wurden insgesamt 90 Pflanzenarten und -sorten daraufhin untersucht, ob bei Bestrahlung ihrer trockenen und gequollenen Samen die Keim- und Überlebensraten in einem Zusammenhang mit den gespeicherten Reservestoffen stehen. Weiterhin wurde der Einfluß genetischer Faktoren, wie Unterschiede von Wildtypen - Zuchtsorten, diploiden - polyploiden Gigasrassen und der Phänomene "Inzucht" und "Heterosis" sowie die Auswirkung einer Schutzstoffbehandlung der Samen geprüft.

1. Sowohl bei Samen- wie Keimlingsbestrahlung läßt sich, von einigen abweichenden Arten abgesehen, eine ansteigende, parallele Sensibilitätsreihe aufstellen: Umbelliferen - Gramineen - Leguminosen - Cruciferen und Capparidaceen.
2. Die Parallelität dieser Ergebnisse hinsichtlich der Reihenfolge der Resistenz könnte ein Hinweis auf resistenzbestimmende, genomabhängige Stoffwechselprodukte sein.
3. Die Wildtypen waren in der Mehrheit etwas resistenter als die Zuchtsorten.
4. Hyperploidie ist nicht in jedem Fall mit einer Resistenzsteigerung verbunden.
5. Die Inzuchtlinien lagen in ihrer Sensibilität zwischen den Heteroten und den frei bestäubten, reinen Linien.
6. Die Schutzstoffbehandlung von Samen gleicht nur die Überlebensraten der "normal" und "waxy"- Sorten einander an, während die der "sugary"- Sorten nach Bestrahlung deutlich niedriger sind. Bei den Vertretern der Leguminosen hatten die Schutzstoffe, unabhängig vom Reservestofftyp, stets eine gute Wirkung.
7. Alle untersuchten Arten und Sorten mit hoher Resistenz besitzen überdurchschnittliche Mengen Öle verschiedener Art als charakteristischen Bestandteil der Reservestoffe in den Kötyledonen. Jedoch waren nicht umgekehrt alle ölreichen Samen hochresistent. Dies läßt darauf schließen, daß Bestandteile der Öle eine Strahlenschutzwirkung besitzen, daß aber die qualitative Zusammensetzung weit bedeutender ist als die Menge des Öls. Alle untersuchten Samenarten mit Gehalt an Senfölen erwiesen sich überdurchschnittlich resistent. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß sowohl Senföle wie ungesättigte Fettsäuren zusammen mit weiteren, nicht erfaßten lipophilen Co- Faktoren als Schutzstoffe in Frage kommen können. Eine sichere Aussage bedarf aber eingehender strahlenbiologischer und analytisch- chemischer Untersuchungen.

VI. Literaturangaben.

1. ALPER T., BEWLEY D. K. u. FOWLER J. F. Chemical protection against alpha- particle irradiation. *Nature* 194, 1245- 1247 (1962).
2. ALTMANN H. Frühschäden der Zelle durch ionisierende Bestrahlung. *Biophysik* 1, 329- 330 (1964).
3. BACQ Z. M. u. ALEXANDER P. Radiobiology Symposium. Butterworth's Scient. Publ., Academic Press, New York (1955).
4. BACQ Z. M. u. ALEXANDER P. Fundamentals in Radiobiology. Butterworth's Scient. Publ., Academic Press, London (1955).
5. BACQ Z. M. Chemischer Strahlenschutz. In: RAJEWSKY B., Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. *Bibl. Biophys.*, Karlsruhe (1957).
6. BARRON E. S. G. The role of free radicals and oxygen in reactions produced by ionizing radiations. *Rad. Res.* 1, 109- 124 (1954).
7. BEREZINA N. M. u. YASKOVA V. Significance of the Disturbance of Metabolic Reactions in the Radiation Damage of Seeds. *Radiobiologiya* 1, 135- 138 (1961).
8. BIEBL R. The Radiosensitive Phase in Plant Germination. In: Proceedings of the Second U. N. International Conference on the Peacefull Uses of Atomic Energy, U. N. Publications, Genf, Seite 299 (1958).
9. BIEBL R. Strahlenempfindliche Keimungsphase und Dauerbestrahlung. *Öst. bot. Zeitschr.* 106, 104- 186 (1959).
10. BIEBL R. Effect of Gamma- Rays on Plant Cells and Protection by Chemical Substances. Second. Int. Congr. of Rad. Res., Abstracts of Papers, Harrogate, England, Seite 38 (1962).
11. BHASKARAN S. ESR- Studies on Plant Seeds of Differential Radiosensitivity. In: Effects of Ionizing Radiations on Seeds, IAEA, Vienna, Seite 75- 82 (1962).
12. BÜNNING E. Zur Physiologie der endogenen Jahresrhythmik in Pflanzen, speziell Samen. *Z. f. Naturf.* 4b, 147- 176 (1949).
13. BÜNNING E. u. MÜSSELE L. Der Verlauf der endogenen Jahresrhythmik in Samen unter dem Einfluß verschiedenartiger Außenfaktoren. *Z. f. Naturf.* 6b, 108- 112 (1951).
14. BÜNNING E. u. BAUER E. W. Über die Ursachen endogener Keimfähigkeitschwankungen in Samen. *Z. f. Botanik* 40, 67- 76 (1952).
15. BOWEN H. J. u. THICK J. Effects of Seed Extracts on Radiosensitivity. In: Effects of Ionizing Radiations on Seeds, IAEA, Vienna, Seite 82 (1962).
16. CALDECOTT R. S. Inverse Relationship between the Water Content of Seeds and their Sensitivity to X- Rays. *Science* 120, 809- 810 (1954).
17. CHENG A. L., ALFEN- SLATER R. B. u. DEWEL H. J. The effect of increasing disages of X- radiation and the protective effect of fat on irradiation injury. *J. Nutr.* 54, Seite 201 (1954).
18. CARSON H. L. Genetic conditions which promote or retard the formations of species. Cold Spring Harbour Symp. XXIV, Seite 87 (1959).
19. CONGER A. D. u. RANDOLPH M. L. Magnetic Centers (Free Radicals) Produced in Cereal Embryos by Ionizing Radiation. *Rad. Res.* 11, Seite 54 (1959).

20. CROCKER W. u. BARTON L. V. Physiology of Seeds. Waltham, Mass., U.S.A., Seite 143 (1953).
21. CZAPEK F. Biochemie der Pflanzen. Band 1, Fischer Verlag Jena (1905).
22. CULPEPPER C. W. u. MAGOON C. A. A study of the factors determining quality in sweet corn. J. of Agr. Res. 34, 413- 433 (1927).
23. DALE W. M., GRAY L. H. u- MEREDITH W. J. The inactivation of an enzyme (carboxypeptidase) by X- and alpha- rays. Phil. Trans. 242 A (1949).
24. DELEANO N. Arch. Sc. Biol., St. Petersburg, 15, 1 (1909). Zitiert in NIETHAMMER u. TIETZ (1961).
25. DECKER A. B., FILLERUP D. L. u. MEAD J. Chronic essential fatty acid deficiency in mice. J. Nutr. 41, Seite 507 (1950).
26. DUBININ N. P., SIDOROV B. N., SOKOLOV N. H. u. MEKSHENKOV M. J. An experimental study of the primary effects of radiation on cell nuclei. USSR Sovt. Ministrov. Gosudarstvennyi Komitet po Ispol'zovaniju Atomnoi Energii, Aug. 28, 28 Seiten. Auch zitiert in Nucl. Sc. Abstr. 16, 3, 347, Nr. 2887 (1961).
27. EHRENBURG L. u. NYBOM N. Ion density and biological effectiveness of radiations. Acta Agr. Scand. 11, 950- 956 (1954).
28. EHRENBURG L. Studies on the mechanism of action of ionizing radiations in plant seeds. Svensk Cem. Tidskr. 67, 5 (1955).
29. EHRENBURG L. Factors influencing radiation- induced lethality, sterility and mutations in barley. Hered. 41, 123 (1955).
30. EHRENBURG E. The radiation- induced growth inhibition in seedlings. Bot. Notiser 108, 184- 215 (1955).
31. EHRENBURG L. u. LUNDQUIST U. Post irradiation effects on X- ray induced mutations in barley seeds. Hered. 43, 390- 401 (1957).
32. EIDUS L. K. u. GANASSI Y. An Analysis of the chief physical factors changing radiosensitivity. Biofizika 5, (1960).
33. EKER P., PIHL A. Toxicity and radioprotective effect of cysteamine and AET in tissue culture. Second Int. Congr. of Rad. Res., Abstracts of Papers, Harrogate, Yorkshire, England, Seite 39 (1962).
34. EVENARI M. Light and Seed Dormancy. In: RUHLAND W., Handbuch der Pflanzenphysiologie XV, 2, Seite 804 (1965).
35. FRÖIER K. u. GUSTAFSSON A. The influence of seed size and hulls on X- ray susceptibility. Hered. 30, 583- 589 (1944).
36. FLEMMING K. Strahlenschutzwirkung von Äthylpalmitat und von Pflanzenölen im Tierversuch. Biophysik 1, 339- 342 (1964).
37. GELIN O. E. Mitotische Störungsfrequenzen in röntgenbestrahlter Gerste. Agri Hort. Gen. 11, 66- 81 (1953).
38. GELIN O. E., EHRENBURG L. u. BLIXT S. Genetically conditioned influences on radiation sensitivity in peas. Agri Hort. Gen. 16, 78- 102 (1957).
39. GILES N. H., BEATLY A. u. RILEY H. P. The relation between the effects of the temperature and of oxygene on the frequency of X- ray induced chromosome aberrations in Tradescantia microspores. Genetics 36, 552- 553 (1951).

40. GILDENMEISTER E. u. HOFFMANN F. Die ätherischen Öle. Akademie-Verlag Berlin (1959).
41. GOMEZ- CAMPO C. u. DELGADO L. Radioresistance in Crucifers. *Rađ. Botany* 4, 4, Seite 479 (1964).
42. GUSTAFSSON A. The X- ray resistance of dormant seeds in some agricultural plants. *Hered.* 30, 165- 178 (1944).
43. HABERLAND K. Der allgemeine landwirtschaftliche Pflanzenbau. Wien (1879).
44. HAGEN U. u. KOCH R. Zum Wirkungsmechanismus organischer Sulfhydrylverbindungen als Strahlenschutzstoffe. *Z. f. Naturf.* 240- 249 (1957).
45. HALDANE J. B. S. The Biochemistry of Genetics. Verl. Allen & Unwin, London, Seite 121 (1954).
46. HEGENAUER R. Chemotaxonomie der Pflanzen. Birkhäuser Verlag Basel-Stuttgart (1963).
47. HEUMANN W. Über den Fettstoffwechsel keimender Kürbissamen. *Planta* 34, Seite 1 (1944).
48. HILDITCH T. P. u. CHRISTIAN B. C. Seed Fats of the Umbelliferae. *Biochem. Journ.* 23, Seite 327 (1929).
49. HOFFMANN J. Das Getreidekorn. Verl. Parey, Berlin (1931).
50. ISENBECK K. u. ROSENSTUEL K. In: ROEMER T. u. RUDOLF W., Handbuch der Pflanzenzüchtung, Band II, Verl. Parey, Berlin (1938).
51. IWANOW S. Über Ölsynthese unter Vermittlung der pflanzlichen Lipase. *Ber. dtsh. Bot. Ges.* 29, Seite 595 (1911).
52. JAMIESON G. S. Vegetable Fats and Oils. Reinhold Publ. Corp., New York (1949).
53. JUST B. Diss. Breslau (1870). Zitiert in NIETHAMMER A. u. TIETZ (1961).
54. KARTER W. Konstitution und Vorkommen der organischen Pflanzenstoffe. Birkhäuser Verl., Basel - Stuttgart (1958).
55. KAUFMANN H. P. Neuzeitliche Technologie der Fette und Fettprodukte. Band I. Aschendorff'sche Verl. Buchhandlg. Münster (1959).
56. KIHLMANN B. A. The effect of oxygen, nitric oxide and respiratory inhibitors on the production of chromosome aberrations by X- rays. *Hered.* 41, 384- 404 (1955).
57. KIHLMANN B. Oxygen and the production of chromosome aberrations by chemicals and X- rays. *Exp. Cell Res.* 14, 639- 642 (1958).
58. KNAPP E. u. KAPLAN R. Beeinflussung der Mutationsauslösung und anderer Wirkungen durch Röntgenstrahlen bei *Antirrhinum majus* durch Veränderung des Quellungszustandes der zu bestrahlenden Samen. *Z. f. ind. Abst.- u. Vererbungsl.* 80, 4 (1942).
59. KNAPP E. Untersuchungen zur Frage der Abhängigkeit der Strahlenempfindlichkeit vom Quellungszustand. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen*, Tagungsheft 60 (1939).
60. KUMMEROW J. Endogene rhythmische Schwankungen der Keimfähigkeit von Samen. In: RUHLAND W. Handbuch d. Pflanzenphysiologie XV/ 2, 721- 726 (1965).
61. LAMBERT J. Recherches sur les facteurs de la radiosensibilité tissulaire en dehors des phénomènes morphologiques. *Arch. Biol. Liège*, 621- 739 (1933).

62. LANGENDORFF H. Untersuchungen über einen biologischen Strahlenschutz. *Strahlentherapie* 95, 534- 541 (1954 a).
63. LANGENDORFF H., KOCH R. u. HAGEN J. Zum Wirkungsmechanismus des Thioharnstoffs beim biologischen Strahlenschutz. *Archiv f. Pharmakodynamie* 100, 1- 16 (1954 b).
64. LATERELL L. Somatic Mutation and Seedling Height Reduction as a Criteria of Radiosensitivity in Maize. Meetings of the Gen Soc. of America, Abstracts of Papers, Aug. 30 (1963).
65. LANG A. Effect of some internal and external conditions on seed germination. In: RUHLAND W., *Handbuch der Pflanzenphysiologie* XV/ 2, Seite 848 (1965).
66. LEA D. E. Action of Radiations on Living Cells. Cambridge Univ. Press (1947).
67. LEA D. E. *Journ. of Radiol.*, Suppl. 1, Seite 59. Zitiert in BACQ Z. M. u. ALEXANDER P., *Fundamentals in Radiobiology*, Butterworth's Scient. Publ., Acad. Press, London (1955).
68. LOIBL H. *Zeitschrift f. d. ges. Brauwesen* 46, 30 (1923). Zitiert in NIETHAMMER A. u. TIETZ N. (1961).
69. MATSAMURA S. u. MITSUYA N. Relation between polyploidy, radiosensitivity and mutation frequency in wheats. In: "Effect of Ionizing Radiations on Seeds", IAEA, Vienna, Seite 475 (1962).
70. MELETTI P. u. d'AMATO F. The embryo transplantation technique in the study of endosperm relations in irradiated seeds. Symposium of the Effects of Ionizing Radiations on Seeds, Abstracts of Papers, Wien, Kärntnerring (1961).
71. MIKAELSEN K. The protective effect of glutathione against radiation-induced chromosome aberrations. *Proc. Science* 116, (1952).
72. MIKAELSEN K. Protective properties of cysteine, sodium hyposulfite and sodium cyanide against radiation- induced chromosome aberrations. *Proc. Nat. Acad. of Sc.* 40, 171- 178 (1954).
73. MIKAELSEN K. Cytological effect of chronic gamma- irradiation and the effect of certain chemicals against the radiation- induced chromosome aberrations. In: BACQ Z. M. u. ALEXANDER P., *Radiobiology Symposium* (1955).
74. MIKOLAJCZAK A. Seed Oils of the Genus *Lesquerella*. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 39, Seite 78 (1962). Zitiert in HEGENAUER R., *Chemotaxonomie der Pflanzen* (1963).
75. MILLER E. C. A physiological study of the germination of *Helianthus annuus*. *Ann. of Bot.* 24, Seite 693 (1910).
76. NATARAJAN A. T., SIKKA S. M. u. SWAMINATHAN M. S. Polyploidy, Radiosensitivity and Mutation Frequency in Wheats. In: "Proceedings of the Second U.N. Int. Conference on the Peacefull Uses of Atomic Energy", U.N. Publications, Genf, Seite 321 (1961).
77. NATARAJAN A. T. u. AHNSTRÖM G. Oxygen saturation and dry seed irradiation. *Naturw.* 48, 698- 699 (1961).
78. NATARAJAN A. T. u. NARAYANAN K. R. Post Irradiation Modification of Genetic Effects in Plant Seeds. In: SOBELS F. H., *Repair from Genetic Radiation Damage*, Pergamon Press, Oxford, Seite 413 (1963).
79. NIETHAMMER A. u. TIETZ N. Samen und Früchte des Handels und der Industrie. Verl. Cramer, Weinsheim (1961).

80. NILAN R. Factors Governing Plant Radiosensitivity. Atomic Energy Commission Report TID 7512 (1956).
81. NILAN R. u. GUNTARDT H. Studies on Aged Seeds. *Caryologia* VIII, 2, (1956).
82. NOTANI N. K. A Study of the Differences in the Radiosensitivity of some Inbreds and Hybrids in Maize. In: "Effects of Ionizing Radiations on Seeds", IAEA, Vienna, Seite 543 (1962).
83. OGAKI M. u. TANAKA E. Inheritance of tolerance to gamma- radiation in *Drosophila melanogaster*. *Gen.* 193, Nr. 7 (1963).
84. ORMEROD M. G. u. ALEXANDER P. Repair of Radiation Damage in a Nucleoproteine by Cysteamine. *Nature* 193, 290- 291 (1962 a).
85. ORMEROD M. G. On the mechanism of radiation protection by cysteamine. An investigation using ESR. Second Int. Congr. of Rad. Res., Abstracts of Papers, Harrogate, Yorkshire, England, Seite 36 (1962 b).
86. PAINTNER E. P. u. NESBITT L. The stability of linseed oil. North Dakota Agric. Exp. Sta. Bimo. Bull 5 (6): 32- 36 (1943). Zitiert in CROCKER W. u. BARTON L., Physiology of Seeds (1953).
87. PALEG L. Physiological Effects of Gibberellinic Acid. I. On carbohydrate metabolism and amylase activity in barley endosperm. *Plant Phys.* 35, 293- 299 (1960 a).
88. PALEG L. Phys. Eff. of Gibb. Acid.: II. On starch hydrolyzing enzymes of barley endosperm. *Plant Phys.* 35, 902- 906 (1960 b).
89. PALEG L. Phys. Eff. of Gibb. Acid. : III. Observations on its mode of action in barley endosperm. *Plant Phys.* 36, 829- 837 (1961).
90. PALEG. L., COMBE B. u. BUTTROSE M. Phys. Eff. of Gibb. Acid.: V. Endosperm responses of barley, wheats and oats. *Plant Phys.* 37, 798- 802 (1962).
91. PATT H. M., TYREE E. B., STRAUBE R. u. SMITH D. Cysteine protection against X- radiation. *Science* 110, 213- 214 (1949).
92. PERCIVAL J. The Wheat Plant. London (1921).
93. PLAT S., BOURNE E. u. NICHOLLS N. Starches of the Wrinkled and the Smooth Pea. *Nature* 161, 206 (1948).
94. RAJEWSKY B. Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. *Bibl. Biophysica*, Karlsruhe (1957).
95. REINHOLZ E. u. AURAND K. Untersuchungen über die Wirksamkeit von Strahlenschutzsubstanzen bei Pflanzen. *Strahlentherapie* 94, 646- 656 (1954).
96. RILEY H. P. The protective effect of various chemical compounds against damage to chromosomes by gamma- radiation. *Am.Journ. of Botany* 42, 765- 769 (1955).
97. ROEMER T. u. RUDORF W. *Handbuch der Pflanzenzüchtung*. Verl. Parey, Berlin (1938).
98. RUHLAND W. *Handbuch d. Pflanzenphysiologie*. Springer Verl. Berlin (1965).
99. SCHLENK W. u. BERGMANN E. Ausführliches Lehrbuch der organischen Chemie. Verl. Deuticke, Leipzig (1932).
100. SCHULTZ O. E. u. GMEIN R. Papierchromatographie der Senfölglykosid-Drogen. *Z. f. Naturf.* 7b, Seite 500 (1952).
101. SCHULTZ O. E. u. GMEIN R. Papierchromatographie senfölglykosidhaltiger Pflanzen. *Z. f. Naturf.* 8b, Seite 151 (1953).

102. SCHMERMUND H. J. Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. Verl. Braun, Karlsruhe (1957).
103. SCHORMÜLLER J. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verl., Berlin (1961).
104. SCHWANITZ F. Untersuchungen an polyploiden Pflanzen II. Züchter 20, Seite 53 (1950 a).
105. SCHWANITZ F. Der Gigascharakter der Kulturpflanzen als Ursache für die schlechten Leistungen künstlich polyploid gemachter Nutzpflanzen. Naturw. 37, 115- 116 (1950 b).
106. SCHWANITZ F. Die Zellgröße als Grundelement in Phylogenese und Ontogenese. Züchter 23, 1/ 2, 17- 44 (1953).
107. SCHWANITZ F. u. PIRSON H. Chromosomengröße, Zellgröße und Zellenzahl bei einigen diploiden Gigaspflanzen. Züchter 25, (1955).
108. SINGH B. B., VENKATERAMAN B., NOTANI N. K., CHANDRA- MOULI und BORA K. C. The role of chemical composition of biological material and the production and decay of radiation- induced free radicals and their identification. In: "Symposium on Biological Effects of Ionizing Radiations at the Molekular Level", IAEA, Vienna, Seite 3- 13 (1961).
109. SOBELS F. H. Repair of Genetic Radiation Damage. Pergamon Press, Oxford (1963).
110. SPARROW A. u. EVANS H. J. Nuclear Factors Affecting Radiosensitivity. Teil I und II. Brookhaven Symposia in Biology 14, (1961).
111. SPARROW A. H. The Role of the Cell Nucleus in Determining Radiosensitivity. Brookhaven Lecture Series 17, May 16 (1962).
112. SPECTOR W. S. Handbook of Biological Data. W. B. Saunders Comp., Philadelphia and London (1956). Tabellen teilweise übernommen von NIETHAMMER A. u. TIETZ N. (1961).
113. STADLER L. J. Chromosome Number and the Mutation Rate in Avena and Triticum. Proc. Nat. Ac. of Sc. 15, 876- 885 (1929).
114. STEIN O. L. u. STEFFENSEN D. M. The activity of X- rayed apical meristems: A genetic and morphogenetic analysis in Zea mays. Z. f. Vererbungsl. 90, 483- 502 (1959).
115. TEDIN O. u. HAGBERG A. Studies on X- ray induced mutations in Lupinus luteus. Hered. 38, 267- 296 (1952).
116. ULRICH H. Radiation Effects on Nucleus and Protoplasm and their Dependence upon Oxygen. Rad. Res. 9, Vol. 1, Nr. 1 (1958).
117. VARNER J. Gibberellinic Acid Controlled Synthesis of Alpha Amylase in Barley Endosperm. Plant Phys. 39, Seite 413 (1964).
118. WEBER E. Grundriß d. biologischen Statistik. Verl. Fischer, Jena, (1956).
119. WERTZ E. Über die Abhängigkeit der Röntgenstrahlenwirkung vom Quellungs- zustand der Gewebe, nach Untersuchungen an Gerstenkörnern. Strahlentherapie 67, 68, (1940).
120. WILLSTÄTTER F. u. WALDSCHMITZ- LEITZ E. Über Rizinuslipase. Z. f. phys. Chemie 134, 161 (1924).
121. WÖHRMANN K. u. MICKE A. Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß einer Lagerzeit des trockenen Samenmaterials auf die Wirkung von Röntgenstrahlen. Angew. Botanik XXXIII, 5 (1959).
122. WOLFF S. Some aspects of the chemical protection against radiation damage to Vicia faba chromosomes. Genetics 39, 356- 364 (1954).

Danksagung.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Oktober 1961 bis Juli 1965 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Barthelmeß teils im Botanischen Institut der Universität München und teil im "Centro di Studi Nucleari della Casaccia/ Rom" durchgeführt.

Herrn Prof. Dr. Leo Brauner, Direktor des Botanischen Instituts der Universität München, bin ich für seine freundliche Erlaubnis, diese Arbeit an seinem Institut durchführen zu können, zu besonderem Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. Alfred Barthelmeß danke ich herzlich für sein Interesse und die große Anteilnahme, mit der er die Arbeit gefördert hat.

Weiterhin gebührt mein Dank den zuständigen Stellen der Euratom, durch deren Stipendium ich von Mai bis November 1962 am "Centro di Studi Nucleari della Casaccia"/ Rom bei Herrn Prof. Dr. G. T. Scarascia, Leiter des "Istituto per l' Applicazioni in Agricoltura", mit dessen großzügiger Unterstützung arbeiten konnte.

Herrn Prof. Dr. W. Souci, Direktor der Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, München, danke ich für die Erlaubnis, die dortige Kobalquelle benutzen zu können, wobei Herr Dr. Kohn mir freundlich zu Hilfe war.

Herr Dr. Süß ermöglichte es mir, in der "Bayrischen Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz"/ München, Bestrahlungsversuche mit der dortigen Caesiumquelle durchzuführen.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei folgenden Herren für die großzügige Überlassung pflanzlichen Versuchsmaterials:

Herrn Dr. A. Brink, Dep. of Genetics, Wisconsin, U.S.A.,

Herrn Dr. s. Joda, Hokkaido Nat. Exp. Sta., Sapporo, Japan,

Herrn E. Loerke, van Waveren & de Bres GmbH., Hann. Münden,

Herrn Prof. Dr. A. Müntzing, Genetiska Institutionen, Lunds Universitet, Schweden,

Herrn Prof. Dr. G. Olsson, Sveriges Ötsädesförening, Svalöf, Schweden,

Herrn Prof. Dr. H. Stubbe, Institut für Kulturpflanzenforschung, Gatersleben,

Herrn Dr. O. Webster, U.S. Dep. of Agriculture, Lincoln, Neb., U.S.A.

Lebenslauf.

Ich wurde am 7. Juni 1939 als Sohn des städt. Beamten Joseph Mühlhölzl und dessen Ehefrau Hedwig, geb. Forster, in München geboren. Nach vier Jahren Volksschule besuchte ich ab 1949 die Klenze-Oberrealschule München, wo ich 1958 die Reifeprüfung ablegte.

Das Studium der Biologie mit den Fächern Botanik, Zoologie, Chemie und Strahlenbiologie begann ich im Wintersemester 1958 an der Universität München. Im Jahre 1960 konnte ich durch ein Stipendium der Euratom zwei Monate im "Centro di Studi Nucleari della Casaccia"/ Rom strahlenphysiologisch praktizieren.

Im November 1961 begann ich unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Alfred Barthelmeß im Botanischen Institut der Universität mit den Arbeiten für meine Dissertation. Dabei führte ich von Mai bis November 1962, wiederum durch ein Stipendium der Euratom, im "Centro di Studi Nucleari della Casaccia" bei Herrn Prof. Dr. G. T. Scarascia, Bestrahlungsversuche durch.

Von Dezember 1962 bis Juli 1965 arbeitete ich weiter bei Herrn Prof. Dr. A. Barthelmeß im Botanischen Institut der Universität München.

Seit dem 12. August 1965 bin ich mit Ilse Elisabeth Mühlhölzl, geb. Heydemann, verheiratet.

